This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

VS 6678.64

HARVARD
COLLEGE
LIBRARY

MÉTÉOROLOGIE AGRICOLE

LE SOLEIL
ET L'AGRICULTEUR

AVEC UN APPENDICE

SUR LA LUNE

ET LES INFLUENCES LUNAIRES

PAR

F. HOUDAILLE

PROFESSEUR DE PHYSIQUE A L'ÉCOLE NATIONALE D'AGRICULTURE
DE MONTPELLIER

AVEC 82 FIGURES DANS LE TEXTE

MONTPELLIER
CAMILLE COULET, LIBRAIRE-ÉDITEUR
Libraire de l'École Nationale d'Agriculture
PARIS
GEORGES MASSON, LIBRAIRE-ÉDITEUR
Boulevard Saint-Germain, 120
1893

TOUS DROITS RÉSERVÉS

VS 5678.54

LE SOLEIL

ET L'AGRICULTEUR

VS 5678.54

LE SOLEIL

ET L'AGRICULTEUR

VS 5678.54
V

MÉTÉOROLOGIE AGRICOLE

LE SOLEIL

ET L'AGRICULTEUR

AVEC UN APPENDICE

SUR LA LUNE

ET LES INFLUENCES LUNAIRES

PAR

F. HOUDAILLE,

PROFESSEUR DE PHYSIQUE A L'ÉCOLE NATIONALE D'AGRICULTURE
DE MONTPELLIER

AVEC 82 FIGURES DANS LE TEXTE

MONTPELLIER
CAMILLE COULET, LIBRAIRE-ÉDITEUR
Libraire de l'École Nationale d'Agriculture
PARIS
GEORGES MASSON, LIBRAIRE-ÉDITEUR
Boulevard Saint-Germain, 120

1893

VS 5678.54
V

AVANT-PROPOS

Si j'avais donné pour titre à ce petit livre : *Notions de météorologie* et que j'aie même pris soin de déclarer formellement, aussitôt après, que ces notions étaient plus spécialement à l'usage des agriculteurs, eh bien, avouez-le franchement, vous ne l'auriez peut-être pas lu.

Sans doute même, malgré son titre perfide : *Le Soleil et l'Agriculteur*, avec un *Appendice sur les influences lunaires*, avez-vous déjà pensé que l'auteur avait surtout examiné votre soleil bienfaisant au travers des prismes et des lentilles d'un instrument d'optique, contemplé l'astre de la nuit au foyer d'un télescope et n'avait éprouvé de tout ce que vous suggère les seuls noms de ces deux astres amis que ce qu'a pu lui révéler la discussion aride de leurs chiffres de température et la mesure de leurs intensités calorifiques et lumineuses. « Vous voulez nous parler de notre soleil, me dites-vous ; mais le connaissez-vous bien? Avez-vous vécu avec lui? »

Enfants, nous nous sommes roulés au soleil dans les foins fraîchement coupés, aspirant à pleins poumons les senteurs aromatiques de l'herbe qui se dessèche lentement sur le sol tiède des prairies. Nous avons vu les blés sortir comme en hésitant du sol, puis s'élancer tout à coup, surexcités par les feux croissants du soleil, pour jaunir ensuite et tendre leurs épis dorés au moissonneur.

Nous avons vu aussi le travailleur, courbé entre la terre brûlante et le soleil de feu, ramasser, depuis le matin jusqu'à la fin du jour, le grain qu'avait mûri l'été. Nous avons respiré, après une chaude averse de juillet, l'étrange et enivrante odeur du sol que réchauffe le premier rayon de soleil. Et les plantes relevaient leurs feuilles pour les tendre vers la lumière de l'astre bienfaisant et pour lui dire : «Nous sommes reposées maintenant; allons, bon soleil, ne sois pas avare de tes richesses; la moisson viendra.» La vendange venait aussi, mais plus tard, et les derniers rayons du soleil d'automne noircissaient les grappes rougissantes de la vigne sur le penchant des coteaux.

Nous avons vu encore de gros nuages noirs voiler brusquement le disque du soleil, quand venait le soir, et le lendemain, au point du jour, un bruit de charrettes, appareillant dans la cour de ferme pour enlever le fourrage avant la pluie,

nous éveillait au premier chant du coq et, regardant par la fenêtre, nous voyions glisser rapidement dans la déchirure d'un nuage noir la lune fugitive au grand regard furtif et narquois. Et nous nous souvenions que les anciens nous avaient dit la veille : « La lune boit ce soir, il y aura de la pluie demain. »

Toutes ces impressions et bien d'autres, fils d'agriculteur, je les ai éprouvées. Les souvenirs d'enfance sont semblables au bouquet de nos grands crus : ils se développent en vieillissant ; et en écrivant ce petit livre, j'ai eu surtout l'intention de vous parler de mes deux bons amis d'autrefois.

Mais comment vous en parler, chers lecteurs ? Parmi les agriculteurs, il est des savants, des chimistes, des physiciens ; il est aussi des littérateurs, des poètes et beaucoup de philosophes. Chacun veut qu'on lui parle son langage, et, serait-on polyglotte, on ne peut en général parler qu'une seule langue à la fois. Mais il y a surtout la grande masse des agriculteurs, celle pour laquelle j'ai voulu écrire, et tous me disent : « Nous voulons bien entendre toutes vos explications, mais nous voulons aussi que tout cela se comprenne rien qu'en se lisant. »

Malheureusement, la science est quelque peu semblable à la déesse antique qui ne voulait être

observée qu'au travers du voile protecteur de ses autels. La science contemporaine a ses voiles, non pas d'obscurité, mais de noblesse; elle a son langage et ses traditions; elle en est fière et s'en drape avec un certain plaisir. Comment faire? Nous nous efforcerons de rendre le voile transparent et nous demanderons pardon à la déesse si, dans nos conversations avec l'agriculteur, nous avons affecté envers elle une trop grande familiarité.

Les physiciens et les physiologistes voudront bien nous excuser si, dans le désir de faire toucher du doigt les points culminants de chaque phénomène, nous avons passé sous silence le détail des expériences qui ont surtout permis d'établir avec précision le mécanisme des relations de l'agriculteur avec le soleil.

Nous prierons, au contraire, les agriculteurs de ne pas nous en vouloir si nous avons quelquefois exprimé par des chiffres, un peu nombreux, les phénomènes qui les intéressent. Ils savent du reste aussi bien que nous, après les récentes discussions des traités de commerce et des tarifs douaniers, quelle est la précision et l'importance des chiffres.

J'ai eu encore une autre ambition en écrivant ce livre: celle de disculper la science des phénomènes de l'atmosphère d'un reproche qu'on lui

adresse fréquemment. « Vous parlez toujours, dit-on, du temps qu'il a fait et jamais de celui qu'il fera ». Et quand bien même cela serait exactement vrai, ne serait-ce pas rendre service à l'agriculteur que de lui rappeler le parti qu'il peut tirer du temps qu'il fait et en particulier de la lumière et de la chaleur du soleil? Tel a été surtout mon but en écrivant cet ouvrage, et mon désir serait pleinement satisfait si l'agriculteur pouvait, après m'avoir patiemment écouté jusqu'au bout, se dire, interprétant une pensée célèbre de Pascal : « Mes forces sont bien faibles si je les compare à l'énergie dont dispose la nature. Mais cette supériorité que le soleil a sur moi, le soleil n'en sait rien. Je puis, ô soleil ! quelque grand que tu sois, mesurer à peu près l'étendue de ta puissance, et moi, simple agriculteur, courbé entre toi et le sol, je connais mieux aujourd'hui la mesure de mes forces et je sais qu'il m'appartient de t'obliger à verser à la surface de mes champs les inépuisables richesses de tes rayons d'or. »

Montpellier, le 21 mars 1892.

VS 5678.54

LE SOLEIL

ET L'AGRICULTEUR

menée à bien, cependant, grâce aux révélations fort précises de plusieurs instruments d'optique, tels que le télescope et le spectroscope. Le télescope, en donnant une image nette et agrandie du disque solaire, a révélé les détails de sa construction ; le spectroscope, en analysant la nature des rayons qu'il nous envoie, a fait connaître la composition des principales substances qui rentrent dans sa constitution.

CONSTITUTION DU SOLEIL

Grâce à ces renseignements, on connaît, aujourd'hui, l'anatomie du soleil. Prenons donc notre soleil en main et enlevons-lui, une à une, toutes ses enveloppes. Nous trouvons un noyau fort développé constitué par des gaz surchauffés à haute pression. Sa densité est voisine de 1,5 et son diamètre paraît supérieur aux 2/3 du disque solaire ; on l'a appelé le noyau central.

Ce noyau est enveloppé d'une zone étroite, où les phénomènes de combustion ou de rayonnement calorifique paraissent atteindre leur maximum d'activité ; on la désigne quelquefois sous le nom de zone de combustion.

Au-dessus s'étend une atmosphère assez dense teintée de rose (*chromosphère*). A sa partie inférieure flottent de brillants nuages qui rayonnent dans toutes les directions, avec une prodigieuse intensité, la chaleur et la lumière du soleil. Ce banc de nuages incandescents constitue la *photosphère*.

Des limites extérieures de l'atmosphère rosée du soleil (*chromosphère*), jaillissent par intervalles de formidables éruptions gazeuses rougeâtres rapportées à

l'hydrogène incandescent : ce sont les *protubérances solaires* en forme de jets ou de panaches.

Enfin, le disque du soleil est environné à une grande distance par une auréole à contours irréguliers renfermant un gaz extrêmement raréfié de composition inconnue. C'est la *couronne* ou *atmosphère coronaire* rendue visible par l'obscurcissement du disque pendant les éclipses totales de soleil.

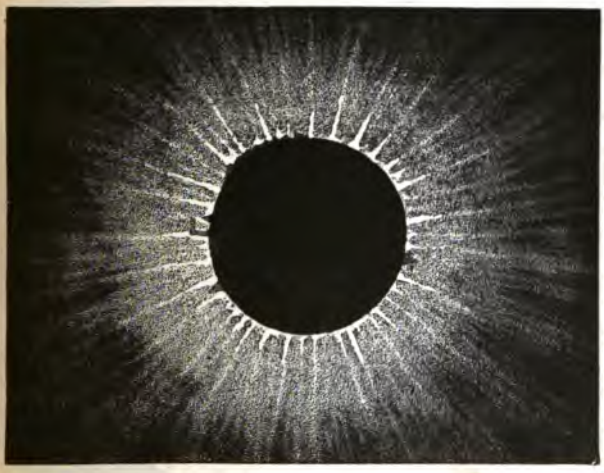


Fig. 1. — Aspect des bords du soleil pendant une éclipse.

Le disque du soleil, révélé par l'observation directe sans le secours d'aucun instrument d'optique, correspond à peu près aux limites extérieures de la photosphère. Son diamètre est égal à 108,7 diamètres terrestres, c'est-à-dire que l'on pourrait y disposer 108 terres placées bout à bout. Mais comme, d'autre part, l'astre gravite à 23,000 rayons terrestres de distance, nous

l'apercevons sous un angle visuel assez réduit de 32 minutes d'arc. Le soleil, malgré ses dimensions colossales, produit sur notre œil, à cause de la distance considérable qui le sépare de nous, la même impression

Fig. 2. — Grandeur relative de la terre et du soleil.

qu'un disque brillant de 0^m93 de diamètre placé à 100 mètres de l'œil de l'observateur.

La grandeur des nombres qui expriment en mètres ou

même en kilomètres les dimensions réelles du disque du soleil ou la distance qui le sépare de nous ne nous permet pas de nous représenter exactement ces diverses grandeurs dont la conception est cependant fort utile pour interpréter les actions exercées par le soleil à la surface de la terre. On arrive assez souvent à se faire une idée plus sensible de ces grandeurs considérables, auxquelles nous ne sommes pas habitué, en établissant une comparaison entre des grandeurs plus petites, que notre esprit peut embrasser plus facilement. Dire que la distance de la terre au soleil est de 37 millions de lieues, c'est évidemment donner un chiffre permettant une appréciation ; mais la grandeur de la distance dont il s'agit ressort plus clairement, si l'on remarque qu'un train express mettrait 200 ans pour aller sans arrêt jusqu'au soleil. Un boulet de canon mettrait environ 10 ans pour faire le même trajet.

De même la petitesse de notre terre, dont le diamètre est inférieur à 13,000 kilomètres, tandis que celui du soleil est voisin de 345,000 lieues, ressort plus clairement si l'on fait remarquer que dans un tas de 13 hectolitres de blé, 1 seul grain représente le volume de la terre, tandis que le reste du tas correspond à celui du soleil. Et cependant 1 litre de blé renferme 10,000 grains de grosseur moyenne. Si la terre était placée à la même distance que le soleil et si le phénomène d'irradiation qui grossit dans le ciel l'image des petits points lumineux ne se produisait pas, nous la verrions occuper, à côté du soleil, la grosseur d'une tête d'épingle ; elle passerait presque inaperçue dans le ciel.

Comme les diverses enveloppes du soleil se recouvrent mutuellement et que, en raison de la grande

distance qui le sépare de nous, la vision que nous avons de cet astre est celle de la projection de son globe sphérique sur un plan perpendiculaire à la ligne de visée de notre œil, il est impossible de reconnaître par une vue d'ensemble, à la surface du soleil, toutes les particularités de constitution que nous venons d'exposer. Voici toutefois ce que nous pourrions constater si nos yeux étaient aussi perçants que le regard d'un télescope.

Fig. 3. — Les enveloppes du soleil.

La surface éblouissante du soleil n'est pas d'un blanc homogène ; elle est recouverte de petites granulations, dont la moindre a la surface du territoire français et qui sont susceptibles de déformations sensibles à quelques heures d'intervalle. Cet aspect granuleux, que

l'on observe très bien en projetant sur un écran une image du soleil de 0m50 à 1m de diamètre fournie par le miroir d'un télescope, présente assez d'analogie avec la surface d'une soupe au riz. Quelques astronomes l'ont aussi rapproché de l'apparence fournie par des feuilles de saule superposées. On la désigne le plus souvent sous le nom de *structure* en *grains de riz*. Les granulations qui la constituent représentent les nuages épars de la *photosphère* nageant dans l'atmosphère de la *chromosphère*. La disposition de ces granules rappelle du reste parfois l'allure d'un courant atmosphérique emportant son défilé de nuages. Çà et là des déchirures brillantes semblent être des éclaircies de la photosphère, laissant voir la zone brillante de combustion des régions inférieures de la chromosphère. Ces déchirures portent le nom de *facules;* elles existent surtout dans le voisinage d'accidents particuliers que présente en petit nombre la surface du soleil et qui sont appelés *taches solaires*.

Les *taches solaires* sont, comme leur nom l'indique,

Fig. 4—. Proéminences solaires (jets et panaches).

des taches noires entourées d'une pénombre dont le diamètre peut atteindre jusqu'à 265,000 kilomètres. Ces taches se déplacent avec un mouvement propre sur le

soleil et peuvent en faire plusieurs fois le tour à raison de un tour en 25 jours si elles sont dans le voisinage de son équateur, et de un tour en 27 jours si elles sont plus rapprochées du pôle. Un astronome, M. Faye, les

Fig. 5. — Taches solaires et facules.

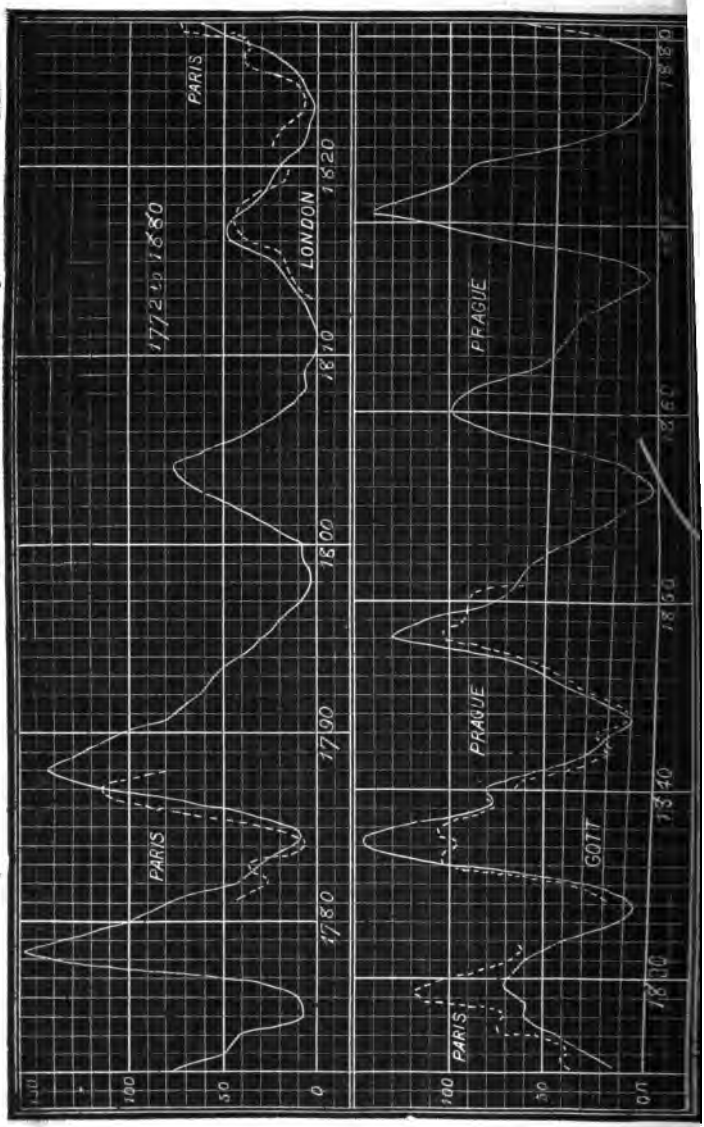
considère comme représentant des tourbillons qui se développent au sein de l'atmosphère du soleil, de même que dans notre atmosphère prennent naissance des mouvements tourbillonnaires qui se déplacent à la surface de notre globe, semant sur leur passage le vent et la pluie. La tache noire centrale serait la surface du noyau obscur du soleil que l'absence de nuages permettrait de voir au centre du tourbillon. De même au milieu d'un orage, le ciel se découvre presque toujours et laisse voir un trou bleu de l'atmosphère supérieure que les marins ont appelé, dans leur langage imagé, «l'œil de la tempête». La seule différence

est que nous regardons le soleil par le dessus et que son dessous est noir; tandis que nous regardons passer nos tourbillons de nuages en regardant en dessus et qu'au-dessus et par dessus nos nuages il y a le bleu du ciel.

Les taches noires du soleil sont en général en petit nombre et ne couvrent qu'une très faible partie de sa surface. La plus grande tache solaire, observée en 1858, couvrait néanmoins 1/36 de la surface totale.

Bien leur en prend, parce que s'il leur prenait fantaisie de se développer à la façon du mildew ou de l'anthracnose sur les feuilles de nos vignes, le soleil deviendrait terne et froid et nous grelotterions misérablement à la surface de notre globe. Cette désagréable perspective et aussi, peut-être même avant tout, une pure curiosité scientifique, a invité les physiciens et les astronomes à se préoccuper de la variation annuelle de la surface qu'elles recouvrent.

Les savants ont trouvé des relations que nous autres, agriculteurs, n'aurions jamais soupçonnées. L'abondance des taches solaires varie d'une année à l'autre comme la déviation de l'aiguille aimantée; et les années où il y a le plus de taches sur le soleil sont aussi celles où les aurores boréales, ces phénomènes lumineux des régions polaires, sont les plus fréquentes. Il paraît démontré que chaque tourbillon orageux du soleil révélé par la naissance d'une tache a son écho à la surface de notre globe sous forme d'une perturbation magnétique. Les taches solaires passeraient par un maximum et par un minimum périodiquement tous les 10 ou 11 ans. Mais cette période est sujette à variation. Entre les maxima de 1829 à 1837, il y a un intervalle de 7 ans 3, et entre ceux de 1788 à 1804, l'intervalle est de


PARIS
1772 à 1880
LONDON
1820
1810
1800
1790
1780
PARIS
PRAGUE
GOTT
1840
1830
1820
1810
PARIS
PRAGUE
1850
1860
1870
1880

16 ans 1. On explique cette variabilité par la superposition deux périodes: l'une de 11, l'autre de 50 ans. On a rché à rattacher la période de 11 ans à celle des olutions de Jupiter; mais la concordance n'existe M. Zoomis admet l'influence des conjonctions et oppositions de Saturne et de Jupiter qui se pro- ent à un intervalle de 9 ans 93. Cette opinion n'est généralement admise, parce que les variations des ctions planétaires sont relativement faibles. Il est able que la périodicité observée est autonome, à façon des fontaines intermittentes dont les eaux ssent des profondeurs du sol à intervalle régulier. n résumé, la naissance des taches solaires paraît capricieuse et l'on est porté à se demander si la ation de la surface recouverte du disque solaire nènerait pas à notre insu des variations correspon- ntes de la température à la surface de la terre. Un sicien, M. Langley, estime que l'ombre d'une tache met que 54 p. 100 et la pénombre 80 p. 100 de la leur rayonnée par la surface brillante du soleil. Cette uction sensible du pouvoir émissif devrait donc se uire par un léger affaiblissement périodique de la iation solaire, mais il s'établit une certaine compen- on par suite de la présence de ces déchirures (facu-) que nous avons vu accompagner les taches solaires qui, mettant à nu ces couches profondes de combus- n, augmentent localement le pouvoir émissif de la otosphère. Les statistiques météorologiques sont ettes sur la relation des variations périodiques de pérature et de l'abondance des taches solaires.

Quoi qu'il en soit, M. Meldrum, de l'île Maurice, a blié en 1862 une relation entre les pluies et les cyclo-

nes de la Réunion et les taches solaires. M. Lockyer a confirmé cette remarque.

Un autre physicien a montré que si l'on représentait par 1 la périodicité des taches solaires, on pouvait représenter par 1 et 1/2 celle du choléra asiatique.

Enfin un économiste distingué, M. Jevons, a cherché à établir une relation entre le développement des taches solaires et l'évolution des crises commerciales, particulièrement en ce qui concerne les variations du prix du blé. Sans affliger d'un doute voisin de la négation ces dernières influences, il est bien permis de penser que le moindre droit protecteur, fût-il de 5 francs par hectolitre, aurait plus d'influence qu'une grosse tache du soleil sur le rendement économique de nos récoltes.

MOUVEMENTS RÉELS ET APPARENTS DE LA TERRE ET DU SOLEIL

Qui ne s'est amusé, fût-il le plus sérieux des agriculteurs, à regarder défiler les arbres à la portière d'un train en marche? L'illusion a été parfois même si complète que, pour épargner à ces pauvres arbres la fatigue de promener leurs racines dans le sol pendant que leurs troncs fuyaient légèrement à sa surface, vous avez pu vous demander un instant si le mécanicien qui vous conduisait ne faisait pas une fausse manœuvre, d'autant plus que si les arbres les plus voisins de la voie semblaient marcher en s'éloignant, ceux de la plaine plus éloignés paraissaient animés d'un mouvement inverse. Puis, les yeux fatigués par la multiplicité de ces

mouvements relatifs, vous êtes-vous peut-être surpris à ne savoir bien au juste lequel marchait de vous deux, du train ou de votre personnalité, et, traversant le tunnel voisin, vous ne saviez exactement si vous vous dirigiez au nord ou au midi.

Ainsi en est-il de nous et du soleil. Et quand le matin l'astre s'élève radieux au-dessus de nos coteaux pour faire son ascension progressive dans le ciel en marchant de l'orient à l'occident, on peut se demander, en toute sincérité, si le soleil vient vers nous ou si nous allons vers le soleil. La demande se pose naturellement ; la réponse est beaucoup moins facile et les avis des premiers astronomes ont été fort partagés à ce sujet. Galilée, qui avait émis un avis favorable à la seconde alternative, était invité à rétracter formellement cette opinion qui était alors considérée comme une hérésie aussi bien pour la science que pour la religion de ses juges.

«Et pourtant *Elle* tourne ! » s'écriait Galilée. Et pourtant le sol, qui nous paraît immobile, nous emporte dans ses mouvements multiples avec une extrême rapidité. Pourquoi la terre tourne-t-elle plutôt que le soleil ? Il y a à cela plusieurs raisons ; la première est une raison de convenance. Voyons, entre nous, n'est-il pas plus naturel d'admettre que ce soit notre petite terre qui tourne autour du grand soleil que de supposer un instant que ce soit le gros soleil qui prenne la peine de se déplacer circulairement autour de notre globe ?

La seconde raison, plus scientifique, consiste à montrer que si l'on fait osciller un pendule dans un plan invariable, la terre se déplace réellement par rapport à lui ; que si l'on fait tomber une balle de plomb au fond d'un puits de mine, la balle ne tombe pas en ligne droite ;

mais que, pendant sa chute, le sol s'est enfui vers l'Est. Il est d'autres raisons aussi démonstratives, mais d'une exposition moins facile ; et d'ailleurs

Une seule suffit, pourvu qu'elle soit bonne.

Si donc nous pouvions tenir notre terre entre le pouce et l'index, en appliquant le pouce au pôle sud et l'index au pôle nord, nous constaterions qu'elle tourne sur elle-même dans la direction de l'ouest à l'est avec une remarquable uniformité à raison de 1 tour par 24 heures.

Nous la verrions en outre se déplacer lentement en décrivant un cercle ou plus exactement une ellipse autour du soleil, et cela à raison de 1 tour complet en 365 jours.

Nous verrions de plus que, dans ce mouvement, la ligne des pôles, autour de laquelle la terre exécute sa rotation diurne, se transporte en restant constamment parallèle à elle-même et présente toujours la même inclinaison sur le plan de l'orbite annuelle de la terre autour du soleil. L'inclinaison de l'axe des pôles sur le plan de l'orbite est de 66°33' environ, et le plan vertical qui contient l'axe des pôles coïncide presque avec le plus grand diamètre de l'orbite elliptique. L'écart n'est que de 10° environ.

Il est facile de voir quelles sont les principales apparences qui résultent de ces mouvements réels qui emportent notre globe dans l'espace presque à notre insu.

1° **La terre tourne sur elle-même en 24 heures** : Il en résulte que pour nous qui croyons être immobiles, le soleil paraît se déplacer autour de nous d'un mouvement continu. L'astre reste en moyenne 12 heures au-

dessus de l'horizon et disparaît pendant les 12 heures de la nuit.

2° **La terre se déplace circulairement autour du soleil** : Il suit de là que le soleil observé tous les jours de l'année, à heure fixe, à son lever, par exemple, se trouve de mois en mois dans une région différente du ciel. Les 12 constellations au milieu desquelles il apparaît successivement de mois en mois jalonnent sa route annuelle apparente dans le ciel et servent aussi, en l'absence de calendrier, pour retrouver l'époque de l'année à laquelle on se trouve.

Les noms de ces constellations sont rappelés, dans l'ordre que suit le soleil dans sa marche, par les deux vers latins suivants du poète Ausone :

Sunt aries, taurus, gemini, cancer, leo, virgo,
Libraque, scorpius, Arcitenens, caper, amphora, pisces.

En bon français, les constellations du zodiaque ou demeures successives du soleil sont : le Bélier, le Taureau, les Jumeaux, l'Écrevisse, le Lion, la Vierge, la Balance, le Scorpion, le Sagittaire, le Capricorne, le Verseau et les Poissons.

Le soleil entre dans le signe du Capricorne le 21 décembre et en sort le 20 janvier, à un jour près, selon l'année. Puis il parcourt les autres constellations successivement à 30 jours d'intervalle environ. Chaque année, le soleil refait périodiquement, à la même date, les mêmes étapes. En réalité cependant, il avance très légèrement, chaque année, la date de son retour dans la constellation du Capricorne, et en opérant ainsi arrive à gagner un tour complet en 26,000 ans.

La terre, en parcourant annuellement son orbite elliptique autour du soleil qui occupe l'un des foyers, occupe,

à 6 mois d'intervalle, les extrémités du grand axe de l'ellipse. Pour l'une de ces positions, elle est le plus rapprochée possible du soleil (périgée); pour l'autre elle en est le plus éloignée (apogée). Or il arrive que, lorsque le soleil est le plus loin de nous, nous sommes en été, tandis que notre hiver arrive lorsque nous en sommes le plus rapproché. L'hiver et l'été ne sont donc en aucune sorte déterminés par notre plus ou moins grande distance au soleil.

3° **La ligne des pôles est inclinée sur le plan de l'orbite et se transporte autour du soleil en restant parallèle à sa direction primitive :** Il suit de là que, à un moment donné, c'est l'hémisphère nord qui regarde le plus directement le soleil, tandis que 6 mois plus tard c'est l'hémisphère sud. Quand l'hémisphère nord que nous habitons est dirigé vers le soleil, les rayons de ce dernier tombent presque perpendiculairement sur le sol et l'échauffent à son maximum : *Nous sommes en été.* Six mois plus tard, l'hémisphère sud a son été, tandis que notre hémisphère nord ne reçoit plus du soleil que des rayons fort obliques : *Nous sommes en hiver.*

Entre ces deux positions extrêmes, il existe deux situations intermédiaires de la terre dans son orbite pour lesquelles la direction des rayons du soleil est aussi intermédiaire entre celle de l'été et celle de l'hiver : ce sont les équinoxes correspondant à l'automne et au printemps.

La terre ne se meut pas dans son orbite avec une vitesse parfaitement uniforme ; elle marche d'autant plus vite qu'elle est plus rapprochée du soleil ; son allure, ralentie en été, s'accélère en hiver. Elle parcourt donc les quatre quartiers successifs qui constituent son

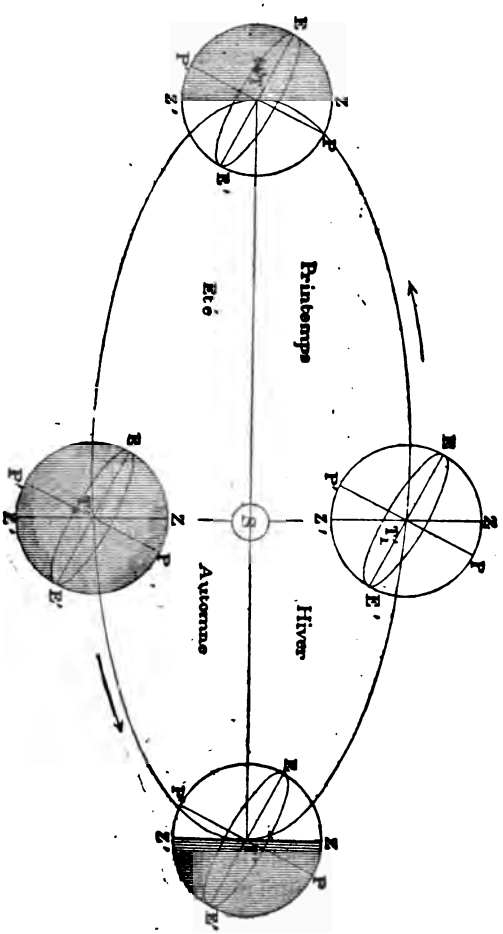


Fig. 7. — Les saisons de l'année.

orbite avec des vitesses différentes; il en résulte une durée inégale pour les diverses saisons : L'été est la plus longue, 93 j. 14 h.; l'hiver, le plus court, 89 j. 0 h. La durée du printemps est de 92 j. 20 h.; celle de l'automne, 89 j. 18 h.

Lorsque la terre regarde le soleil le plus en face par son hémisphère nord et que nous sommes en été, le soleil brille au-dessus du plan de l'équateur terrestre. Pendant l'hiver, au contraire, il se trouve au-dessous du plan de l'équateur, et comme il ne peut passer du dessus au-dessous de ce plan sans le traverser, il se trouve deux fois par an dans le plan de l'équateur en automne et au printemps. L'époque précise où le soleil est le plus élevé possible au-dessus du plan de l'équateur est le solstice d'été : l'astre est à 23 degrés environ au-dessous du plan de l'équateur. L'époque où il est le plus au-dessous de ce même plan porte le nom de solstice d'hiver. Le soleil passe une première fois dans le plan de l'équateur à l'équinoxe d'automne et une seconde fois à l'équinoxe du printemps. Les dates de ces quatre époques mémorables dans la marche annuelle de la terre autour du soleil sont les suivantes : solstice d'été, 21 juin; solstice d'hiver, 22 décembre; équinoxe d'automne, 23 septembre; équinoxe du printemps, 21 mars.

Il résulte de ce double mouvement apparent du soleil— voyage annuel dans le chemin circulaire que jalonnent les constellations zodiacales, ascension périodique au-dessus du plan de l'équateur et descente périodique au-dessous de ce plan—que l'astre du jour observé chaque matin à son lever paraît se déplacer dans le ciel le long d'un grand cercle incliné de 23° sur le plan de l'équateur. Ce grand cercle, qui résume l'itinéraire annuel apparent du soleil, est appelé le *plan de l'écliptique*. Il

joue un grand rôle dans la détermination des époques où se produisent les éclipses de lune et de soleil.

Tel serait le chemin apparent annuel du soleil, dans le ciel si la terre n'était animée d'aucun mouvement de rotation sur elle-même. Mais comme elle fait un tour sur son axe par 24 heures, il suit de là que si le soleil, observé une fois par 24 heures à son lever, paraît suivre consciencieusement son itinéraire le long de l'écliptique, il profite de l'intervalle de deux levers consécutifs pour se donner le plaisir d'un rapide voyage circulaire dans le ciel en décrivant un grand cercle autour de l'axe terrestre. Vingt-quatre heures plus tard, le soleil est à son poste sur le plan de l'écliptique, prêt à recommencer une nouvelle escapade. En vertu de cette heureuse fantaisie qui nous procure le plaisir de le voir s'élever chaque jour progressivement dans le ciel, du matin à midi, pour redescendre lentement de midi jusqu'au soir, le soleil exécute dans le ciel un itinéraire assez gracieux. S'il nous était permis de le suivre sans cesse jour et nuit, pendant tout un an, nous le verrions partir du point de l'écliptique correspondant au solstice d'été et décrire une spirale des plus grandioses autour de l'axe terrestre en se rapprochant insensiblement du plan de l'équateur pour le dépasser et aboutir, six mois plus tard, au solstice d'hiver. Cette immense spirale a un rayon de 23,000 rayons terrestres et compte environ 365 spires. Les spires sont plus rapprochées dans le voisinage des solstices, et plus écartées à l'approche du plan de l'équateur. De là une forme des plus heureuses que les Esquimaux et autres habitants des régions polaires ont le bonheur d'admirer pendant plusieurs mois de l'année. Dans ces régions, où le soleil brille pendant plusieurs jours consécutifs au-dessus de l'horizon, l'astre

décrit ses immenses spires en s'élevant de jour en jour un peu plus haut dans le ciel pour s'abaisser progressivement et disparaître pendant plusieurs mois. Les longs crépuscules et la nuit de l'hiver succèdent à la lumière continue et à la chaleur bienfaisante de l'été.

Nous venons de prononcer les mots de jour et de nuit; et au lieu de nous préoccuper du jour et de la nuit des Lapons, il serait plus raisonnable de nous inquiéter de ces deux parts de l'existence des agriculteurs français dont la durée relative ne leur est nullement indifférente parce qu'ils n'ont pas encore adopté le principe du bon Lafontaine:

> Deux parts en fit dont il *voulait* passer:
> L'une à dormir, et l'autre à ne rien faire.

Si l'axe de rotation de la terre était bien planté verticalement dans le plan de son orbite autour du soleil, il y aurait constamment une moitié de la terre dans l'obscurité et une autre moitié dans la pleine lumière, et de plus, ces deux moitiés du globe seraient séparées l'une de l'autre par un plan méridien, c'est-à-dire par un grand cercle de la sphère passant par les pôles. Comme, d'autre part, dans son mouvement de rotation, la terre nous entraîne en nous faisant décrire un cercle dont le plan est perpendiculaire à la ligne des pôles, chaque habitant du globe resterait pendant 12 heures au soleil et pendant 12 heures à l'obscurité. Le jour serait constamment égal à la nuit.

Mais l'axe terrestre étant incliné, les limites de la zone éclairée ne concordent plus avec celles de la division de notre globe en deux moitiés par un plan méridien, et lorsque l'axe penche vers le soleil, la zone éclairée dans l'hémisphère nord dépasse les limites assignées par la

division du plan méridien. Le trajet que nous exécutons dans la lumière est donc supérieur à celui que

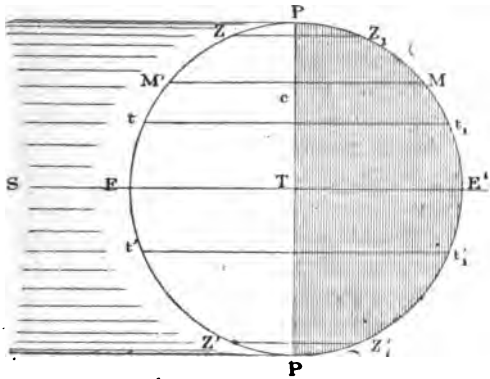


Fig. 8. — Égalité des jours et des nuits.

nous parcourons dans l'obscurité. Le jour est plus grand que la nuit. En hiver, l'axe terrestre penche au con-

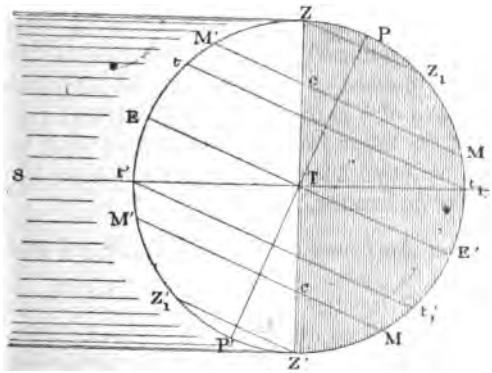


Fig. 9. — Inégalité des jours et des nuits.

traire à l'opposé du soleil ; la nuit devient plus grande

que le jour. Il existe deux époques seulement dans l'année où les nuits sont égales au jour : le 21 mars et le 23 septembre, c'est l'époque des *Equinoxes*.

Cette inégalité du jour et de la nuit se reproduit avec ses mêmes caractères aux diverses latitudes, mais la proportion du jour et de la nuit pour une même date de l'année varie avec la latitude. Dans nos régions, à la latitude 45°, le jour le plus long est de 15^h26^m ; le jour le plus court, 8^h34^m. Cette différence s'exagère quand on remonte vers le nord. A la latitude 65°, le jour le plus long est 21^h9^m et le jour le plus court se réduit à 2^h51^m. Enfin, à partir du 66°,32 de latitude, le jour de lumière peut dépasser la durée de 24 heures. Au 75° de latitude nord, le soleil ne se couche pas pendant environ 103 jours.

A cette variabilité de la durée du jour et de la nuit, correspond, à une même latitude, la variabilité des heures du lever et du coucher du soleil aux divers jours de l'année.

Comme le lever et le coucher du soleil intéressent tout particulièrement les agriculteurs dont la durée des travaux journaliers en plein champ est intimement liée à l'apparition et à la disparition de l'astre à l'horizon, je crois utile de reproduire ici les heures des levers et couchers du soleil à la latitude de Paris pour les principales dates de l'année.

Heures des levers et couchers du soleil à Paris

	Lever	Coucher
15 janvier	7^h51^m	4^h30^m
15 février	7^h10^m	5^h19^m
21 mars	$6^h\ 3^m$	6^h13^m
15 avril	5^h11^m	6^h50^m

	Lever	Coucher
15 mai	4^h20^m	7^h33^m
21 juin	3^h58^m	$8^h\ 5^m$
15 juillet	4^h14^m	7^h57^m
15 août	4^h54^m	7^h14^m
21 septembre	5^h46^m	5^h59^m
15 octobre	6^h22^m	$5^h\ 9^m$
15 novembre	7^h11^m	4^h18^m
21 décembre	7^h53^m	$4^h\ 4^m$

Le tableau suivant indique le nombre d'heures qu'il faut ajouter ou retrancher aux heures du lever ci-dessus rapportées pour obtenir celles qui conviennent aux localités situées entre les 43° et 50° degrés de latitude qui correspondent aux limites extrêmes de la France. Pour obtenir l'heure du coucher du soleil, il faut faire la même correction que celle que l'on a fait subir au lever, mais en sens inverse.

Correction des heures du lever du soleil à diverses latitudes

	43°	44°	45°	46°	47°	48°	49°	50°
15 Janvier	—20m	—17m	—14m	—11m	—7m	—3m	+1m	+5m
15 Février	—11	—9	—7	—6	4	—2	0	+3
21 Mars	+1	+1	0	0	0	0	0	0
15 Avril	+9	+7	+6	+5	+3	+1	0	—2
15 Mai	+19	15	12	9	6	3	0	—4
21 Juin	+24	20	17	13	8	4	+1	—6
15 Juillet	+21	18	14	10	7	3	1	—5
15 Août	+12	10	8	6	4	2	0	—3
21 Septembre	+1	+1	0	0	0	0	0	0
15 Octobre	—8	—7	—6	—4	—3	—1	0	+2
15 Novembre	—17	—15	—12	—9	—6	—3	0	+4
21 Décembre	—23	—20	—16	—13	—8	—4	0	+5

Exemple : Trouver l'heure du lever et du coucher du soleil, le 15 août, à Lyon. Cette ville est située dans le voisinage du 46e degré de latitude. Le tableau des heures du lever du soleil à Paris donne 4^h54^m. Le tableau de correction donne $+ 6^m$. Le soleil se lèvera à Lyon à $4^h54^m + 6^m = 5^h$. Le coucher à Paris était 7^h14^m; il sera à Lyon $7^h14^m - 6^m = 7^h8^m$.

Les heures du lever et du coucher ainsi déterminées sont exprimées en temps moyen de Lyon. Pour les avoir en temps moyen de Paris, il faut retrancher à ces heures autant de fois 4 minutes que Lyon est de degrés à l'est de Paris. Comme la longitude de Lyon est de 2°1/2 Est, la correction sera $2{,}5 \times 4^m = 10^m$. Le lever et le coucher du soleil à Lyon, exprimés en temps solaire moyen de Paris, seront $5^h - 10^m = 4^h50^m$ et $7^h8^m - 10^m = 6^h58^m$.

La durée des jours croît du 21 décembre au 21 juin et décroît du 21 juin au 21 décembre. L'accroissement et la diminution des jours sont très faibles aux environs du 22 décembre et du 21 juin. La variation est maxima à l'époque des équinoxes. Un dicton populaire a consacré cette remarque, rappelant « que pour la sainte Luce, les jours *croissent du saut d'une puce* ». Le jour de sainte Lucie est voisin du solstice d'hiver.

Augmentation ou diminution de la durée des jours dans l'intervalle des mois.

Janvier, les jours	augmentent	de . .	1^h4^m
Février	—	— . .	1^h32^m
Mars	—	— . .	1^h52^m
Avril	—	— . .	1^h43^m
Mai	—	— . .	1^h20^m
Juin	—	— . .	0^h17^m

Juillet, les	jours	diminuent de. . .	0^h58^m
Août	—	— . .	1^h38^m
Septembre	—	— . .	1^h46^m
Octobre	—	— . .	1^h47^m
Novembre	—	— . .	1^h22^m
Décembre	—	— . .	0^h19^m

L'extrême régularité de la marche apparente du soleil qui se reproduit identiquement d'année en année et qui préside à la veille et au sommeil du plus grand nombre des humains l'a fait adopter pour graduer la marche du temps.

L'année civile se compose de 365 jours solaires moyens. Il s'écoule, en effet, entre les deux passages successifs du soleil à l'équinoxe du printemps, un intervalle de temps égal à 365 fois et un quart environ la durée moyenne d'une révolution diurne apparente du soleil autour de l'axe terrestre. C'est pour tenir compte de ce quart de révolution supplémentaire que l'on ajoute à l'année civile un jour de plus tous les quatre ans. L'année dont les deux derniers chiffres sont divisibles par 4 est bissextile et compte 366 jours. Toutefois, en ajoutant ainsi un quart de jour en plus chaque année, on ajoute un peu trop, et l'erreur s'élèverait à trois jours en 400 ans, si l'on n'avait pris soin de décider que sur quatre années séculaires consécutives, telles que 1700, 1800, 1900, 2000, qui devraient toutes être bissextiles, une seule le serait : ce serait celle dont les deux premiers chiffres sont divisibles par 4. L'an 1900, vers lequel nous marchons à grands pas, ne sera pas bissextile, mais l'an 2000 le sera. La sage prévoyance des astronomes a ainsi réglé les choses pour plusieurs milliers d'années.

Le jour civil est représenté par la durée d'un jour

solaire moyen et le commencement de chacune de nos journées est déterminé par l'instant du passage au méridien d'un certain soleil fictif dont la marche est réglée et calculée par les considérations suivantes.

La durée d'une révolution diurne apparente du soleil varie, en effet, légèrement d'un jour à l'autre, parce que cette durée résulte à la fois de la durée de la rotation de la terre sur elle-même qui est constante et de la durée de la translation diurne de la terre autour du soleil qui est variable avec la distance du soleil à la terre. Les astronomes ont donc calculé, pour tous les jours de l'année, l'instant du passage au méridien d'un soleil imaginaire assujetti à se déplacer, d'un mouvement uniforme sur le cercle de l'équateur pendant toute l'année, avec la vitesse moyenne qu'aurait le mouvement du soleil uniformisé sur l'écliptique. Ce soleil fictif équatorial passe à l'équinoxe du printemps en même temps que le soleil à marche uniformisée de l'écliptique, et ce dernier passe à l'apogée et au périgée de l'orbite de l'écliptique en même temps que le vrai soleil, le soleil des agriculteurs. En vertu de ces diverses relations, le soleil vrai ne passe au méridien que quatre fois par an, en même temps que le soleil fictif qui sert à la mesure du jour civil. Les coïncidences ont lieu le 15 avril, le 14 juin, le 31 août et le 24 décembre. Ce sont les seuls jours de l'année où l'on puisse régler exactement sa montre sur les cadrans solaires qui ne donnent que l'heure du soleil vrai.

Les jours de l'année sont groupés en *semaines* et désignés, dans chacune d'elles, par des noms qui rappellent les premières conquêtes de l'Astronomie. Les anciens connaissaient surtout 7 planètes, y compris le Soleil et la Terre, et ils les classaient dans l'ordre suivant: Sa-

turne, Jupiter, Mars, le Soleil, Vénus, Mercure, la Lune. D'autre part, les prêtres égyptiens consacraient chacune des heures du jour à l'une des planètes dans l'ordre que l'on vient de rapporter, et si l'on établit ce roulement en affectant la 1re heure du jour à Saturne, on trouve que la 1re heure du jour suivant doit être consacrée au Soleil, la 1re heure du troisième jour à la Lune, la 1re heure du quatrième jour à Mars, etc. Du jour de Saturne, les Anglais ont fait *saturday*, et les Français le *samedi;* le jour du Soleil est resté, pour les Anglais, le *sunday*, et nous en avons fait notre *dimanche;* le jour de la Lune, le *lundi;* de Mars, le *mardi;* de Mercure, le *mercredi;* de Jupiter, le *jeudi* et de Vénus, le *vendredi.*

Les jours ont été aussi groupés depuis l'époque romaine, sous le règne de Numa, en périodes d'environ 30 jours ou *mois*, et ces mois ont reçu dès cette époque la plupart des noms qu'ils portent aujourd'hui. Ils étaient toutefois, à l'origine, un peu plus courts qu'il ne fallait; l'année y perdait une dizaine de jours et les pontifes romains veillaient, pour rétablir la concordance, à intercaler, en général tous les deux ans, dans le courant de février, un petit mois de 22 jours.

Grâce à la connaissance de certaines périodes, dont l'indication est du reste consignée dans la plupart des almanachs, il est toujours possible de repérer un jour quelconque d'une année dans les divisions établies par le calendrier. Les trois périodes les plus importantes à ce point de vue sont le *cycle lunaire*, le *cycle solaire* et la *période d'indiction romaine.*

Le *cycle lunaire* est une période de 235 lunaisons, correspondant exactement à 19 années tropiques. Le

numéro d'ordre dans le cycle lunaire porte le nom de *nombre d'or*.

Le *cycle solaire* est une période de 28 ans, comprenant 7 années bissextiles. Tous les 28 ans, l'année recommence par le même jour. On peut, en effet, remarquer que l'année de 365 jours correspond à 7 fois 52 semaines et 1 jour. S'il n'y avait pas d'année bissextile, les années qui se suivent commenceraient successivement par tous les jours de la semaine; la présence d'une année bissextile fait sauter 1 jour tous les 4 ans et empêche que l'année recommence par le même jour de la semaine tous les 7 ans. Ce n'est qu'au bout de 4 périodes semblables que ce résultat est atteint. Quand on connaît le numéro d'ordre d'une année dans le cycle solaire, il est donc toujours possible de trouver par quel jour de la semaine elle doit commencer si l'on connaît le jour par lequel a commencé une année dont le numéro d'ordre dans le cycle est connu.

Exemple: L'année 1885, dont le cycle solaire était 18, a commencé un jeudi; on demande par quel jour commencera l'année 1892, dont le cycle solaire est 25. La différence $25 - 18 = 7$ des deux cycles pour 1885 et 1892 indique que l'ordre des jours de la semaine a rétrogradé de 7 unités; l'année 1892 devrait donc commencer par un jeudi s'il n'y avait pas eu d'année bissextile entre 1885 et 1892. Mais comme il y a eu une année bissextile — 1888 — intermédiaire, il faut ajouter 1 unité à l'ordre des jours de la semaine; l'année 1892 a donc commencé un vendredi.

Pour trouver les dates des divers dimanches de l'année, il suffit de connaître la *lettre dominicale* de l'année; on désigne sous ce nom la lettre qui représente le nombre de jours écoulés depuis le 1er janvier jusqu'au pre-

mier dimanche de l'année inclusivement. Ce nombre, qui varie de 1 à 7, est représenté par les lettres A, B, C, D, E, F, G. La lettre dominicale C, qui caractérise l'année 1892, par exemple, signifie que le premier dimanche de l'année tombe le 3 janvier. On peut donc, en remarquant que les dates des dimanches successifs sont représentées par des multiples de 7 comptés à partir du jour de la lettre dominicale, trouver par exemple la date du 10^{me} dimanche qui suit le premier dimanche de l'année ; cette date sera 70 + 3 pour l'année 1892. Le 11^{me} dimanche de l'année concordera avec son 73^{me} jour. Ce serait le 14 mars si l'année n'était pas bissextile, puisque 31 + 28 + 14 = 73. Mais comme février 1884 a eu 29 jours, il faut retrancher 1 jour à la date calculée; le 11^{me} dimanche de 1892 sera le 13 mars. On arriverait au même résultat, sans soustraire un jour, en calculant la date des dimanches qui tombent après le 28 février, comme si le premier dimanche de l'année avait eu lieu un jour plus tôt. Ce qui revient à caractériser les années bissextiles par deux lettres dominicales: l'une, C, servant jusqu'au 28 février; l'autre, B, que l'on peut utiliser depuis le 28 février jusqu'à la fin de l'année.

Le cycle d'*indiction romaine* est une période de 15 années juliennes qui avait été introduite à Rome sous les empereurs. Cette période, dans le principe, désignait un impôt extraordinaire que l'on prélevait tous les 15 ans. Plus tard elle fut employée comme note chronologique apposée au bas des chartes et diplômes. Elle est toujours rapportée dans les bulles des papes; de là son nom d'*indiction romaine*. Ce cycle ne concorde avec la périodicité d'aucun phénomène astronomique.

Enfin, on appelle *période julienne* une période de

$19 \times 28 \times 15 = 7980$ ans pendant laquelle chaque année est différenciée par une valeur différente d'au moins 1 des 3 termes: nombre d'or, cycle solaire, indiction. La première année du cycle en cours actuellement remonte à l'année 4713 avant l'ère chrétienne, et la dernière sera l'an 3267. En 1892, nous sommes en l'an 6605 de la période julienne.

La connaissance de l'année de la période à laquelle appartient une année donnée permet de trouver très facilement le cycle solaire, le cycle lunaire et le cycle d'indiction qui la caractérisent. En effet, quand on connaît le millésime d'une année de la période julienne, en le divisant successivement par 28, 19 et 15, les restes des 3 divisions sont les cycles solaire, lunaire et d'indiction de cette année..

Exemple: L'année 1892 est l'année $4713 + 1892 = 6605$ de la période julienne.

On trouve : $6605 = 28 \times 235 + 25$.

$6605 = 19 \times 347 + 12$.

$6605 = 15 \times 440 + 5$.

On aura donc en 1892 :

Cycle solaire. . . . . = 25

Cycle lunaire : nombre d'or. . . . = 12

Indiction romaine. . . . . = 5

De toutes les mesures du temps, la plus utile à l'agriculteur est sans contredit la mesure des heures du jour; et comme une bonne partie de son existence s'écoule en plein air, il est plus que personne intéressé à connaître l'heure d'après la position du soleil.

La connaissance des heures du lever et du coucher du soleil dans chaque saison sont pour les travaux des champs deux premiers points de repère. Au printemps et en automne, la journée de travail aux champs com-

mence au soleil levant et finit au soleil couchant, et comme si l'astre du jour avait compris que les travaux agricoles sont plus pressants en été qu'en hiver, il règle en conséquence les heures de son lever et de son coucher dans ces deux saisons. Il est juste d'ajouter que, comme nous le verrons plus loin, le soleil prend soin de régler lui-même le travail de l'agriculteur et que si plus il brille plus il travaille pour ce dernier, plus aussi il fournit de sujets à la dépense de notre activité à la surface de nos champs. Les travaux et les récoltes du laboureur semblent se succéder d'autant plus vite dans le cours de l'année que le soleil fournit une plus longue carrière au-dessus de l'horizon.

Le passage du soleil au méridien indique aussi chaque jour au laboureur le moment où il doit interrompre un instant ses travaux.

> Mais le milieu du jour au repas les rappelle,
> Ils couchent sur le sol, le fer ; l'homme dételle
> Du joug tiède et fumant les bœufs, qui vont en paix
> Se coucher, loin du soc, sous un feuillage épais.
>
> LAMARTINE.

En pratique, un bon agriculteur connaît à une demi-heure près l'heure de la journée d'après la position du soleil. Il est du reste souvent guidé dans son estimation par d'autres renseignements complémentaires, tels que le travail qu'il a fourni depuis le lever du soleil et les tiraillements de son estomac. Ces deux derniers indicateurs du temps dispenseraient de conseiller la lecture de l'heure du jour sur les cadrans solaires si les agriculteurs n'avaient assez souvent une montre à régler. Les cadrans solaires, dont la construction est assez simple, peuvent fournir à ce sujet de très utiles indications.

Le plus simple des cadrans solaires consiste en un

cadran orienté dans le plan de l'équateur traversé par une aiguille dirigée parallèlement à la ligne des pôles. Il suffit pour cela que l'extrémité de l'aiguille prolongée aboutisse dans le voisinage de l'étoile polaire qui termine la queue de la Petite-Ourse. Comme le soleil décrit un tour complet autour de la ligne des pôles en 24 heures environ de temps solaire moyen, l'ombre projetée sur le cadran se déplace régulièrement sur celui-ci à raison de 15° par heure. Il suffit donc de diviser les 360° du cadran circulaire en 24 parties égales pour que la course de l'ombre du style d'une division à la minute indique qu'une heure s'est écoulée. Pour connaître l'heure de la journée à laquelle la division se rapporte, il suffit de placer la division (minuit) exactement dans le plan vertical passant par l'axe du cadran, ou bien encore de régler celui-ci d'après l'heure de Paris, l'un des 4 jours de l'année où il y a accord parfait entre le soleil vrai et le soleil fictif.

Les cadrans solaires ainsi construits présentent un inconvénient. Pendant six mois de l'année, du 21 mars au 21 septembre, l'ombre du style se projette au-dessus du cadran ; mais pendant les six mois suivants, le soleil passant au-dessous de l'équateur, l'ombre du style se projette au-dessous et les lectures deviennent très incommodes.

Heureusement il est toujours possible, en toute saison, de suivre la projection de l'ombre sur un plan vertical ou sur un plan horizontal, et cette position peut être déterminée géométriquement d'une façon assez simple après avoir déterminé la position de l'ombre sur le cadran équatorial. Pour construire un cadran solaire vertical contre un mur exposé au midi, on peut employer le procédé pratique suivant :

1° Enfoncer obliquement dans le mur un style dont la direction soit celle de la ligne des pôles; pour cela, s'assurer que sa projection horizontale sur le sol concorde avec la ligne nord-sud et que sa direction avec l'horizon fait un angle égal à la latitude du lieu.

2° Fixer perpendiculairement sur ce style un disque de bois ou de carton que l'on aura divisé en 24 parties. Approcher ce disque le plus possible du mur jusqu'à ce qu'il le touche par son bord inférieur. Prendre ensuite une règle bien droite, l'appliquer sur le cadran équatorial préalablement orienté et déterminer les points où les lignes partant du centre et

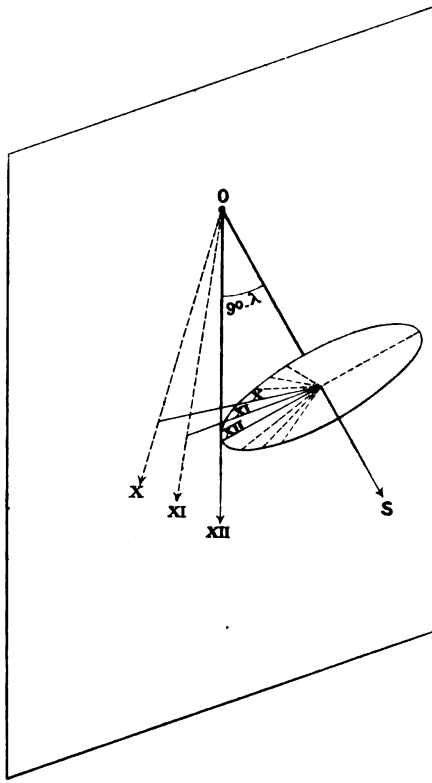


Fig. 10. — Construction d'un cadran solaire vertical.

aboutissant à chaque division vont rencontrer le mur. Il suffira de joindre ces points au pied du style par des traits tracés sur le mur et d'y inscrire l'heure correspondante de la division du cadran équatorial qui a servi à les tracer. Cette opération étant faite, on supprimera le disque auxiliaire qui a servi à la construction, et désormais l'ombre du style indiquera sur le mur l'heure du soleil vrai.

Pour en déduire l'heure du temps solaire moyen à Paris, il faut : 1° retrancher à l'heure lue autant de fois 4 minutes que la localité est située de degrés à l'est du méridien de Paris ; 2° pour chaque jour de l'année, ajouter ou retrancher l'écart variable que présente le passage au méridien du soleil moyen et du soleil vrai.

Le tableau suivant indique le temps moyen lorsque le cadran solaire indique le midi vrai.

Dates	Temps moyen au midi vrai	Dates	Temps moyen au midi vrai
1er Janvier . . .	12h 4m	26 Juillet . . .	12h 6m
11 Février . . .	12 15	31 Août	12 0
21 Mars	12 7	1er Octobre . .	11 50
15 Avril	12 0	2 Novembre. .	11 44
14 Mai.	11 56	1er Décembre. .	11 49
15 Juin.	12 0	25 Décembre. .	12 0

Le 11 février, lorsque le cadran solaire marque midi, il est en réalité midi et 15 minutes, et lorsqu'il indique midi le 2 novembre, il est seulement 11 h. 44 m. L'erreur que l'on commet en plus ou en moins en lisant l'heure directement au cadran solaire ne dépasse pas 16 minutes, et l'on peut facilement déduire l'heure vraie de l'heure lue en appliquant, à toute heure de la journée

la correction indiquée dans le tableau précédent pour l'heure de midi.

Exemple : Le 26 juillet on lit au cadran solaire 3^h15^m; il est en réalité $3^h15^m + 6^m = 3^h21^m$, puisqu'à midi le cadran solaire retardait de 6 minutes.

Il existe des cadrans solaires plus parfaits que ceux que l'on obtient en lisant l'ombre d'un style sur un mur ; mais leur prix de revient est considérablement plus élevé. Tel est le cadran solaire de Fléchet, connu sous le nom de chronomètre solaire. Un cercle divisé, en bronze, se meut en présence d'un repère autour d'un axe que l'on oriente parallèlement à la ligne des pôles. Ce cercle porte à sa partie supérieure une alidade dont l'une des branches se termine par une petite lentille donnant sur la branche opposée une petite image du soleil. Cette branche opposée est marquée d'un trait vertical, comprenant en toutes saisons le point où aboutirait un rayon de soleil assujetti à passer par la petite lentille et par l'axe du cercle divisé.

Pour lire l'heure, on tourne à la main le cercle divisé jusqu'à ce que la petite image du soleil tombe exactement sur le trait marqué sur la branche opposée de l'alidade et on lit la position du repère sur le cercle gradué. Cette lecture donne l'heure du temps solaire à une demi-minute près. De plus, le trait indicateur de l'alidade est accompagné d'une courbe en forme de 8, qui indique, pour chaque jour de l'année, la quantité supplémentaire dont il faut tourner le cadran divisé pour obtenir le temps solaire moyen ou temps civil. En pratique, on fait tourner le limbe divisé jusqu'à ce que l'image lumineuse du soleil tombe sur la courbe au jour qui y est inscrit, et la lecture du repère donne le temps solaire moyen.

Le réglage de l'instrument est facile quand on connaît l'heure de Paris à un moment donné. L'heure de Paris est l'heure extérieure des gares de chemins de fer. Un cercle gradué vertical permet de donner au cadran de lecture l'inclinaison qui convient à la latitude du lieu ; il suffit ensuite de tourner le pied de l'instrument jusqu'à ce que le chronomètre indique exactement l'heure de Paris en temps solaire moyen.

Cet instrument, d'une forme élégante, se fixe sur une colonne en fonte ou en pierre et peut servir de motif décoratif aux abords d'une maison d'habitation.

LES PLANÈTES

Le Soleil et la Terre ne sont pas isolés dans l'espace. Autour du Soleil circulent à des distances et avec des vitesses différentes plusieurs astres dont les mouvements rappellent ceux de la Terre : ce sont les planètes. On peut les classer en deux groupes, suivant leurs dimensions et leur distance au Soleil. Les plus petites et les plus rapprochées de cet astre sont Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Les plus grosses et les plus éloignées sont Jupiter et Saturne, Uranus et Neptune. Entre Mars et Jupiter circulent un grand nombre de petites planètes au nombre de plus de 200, mais dont les masses réunies restent inférieures à la masse de la Terre.

Une loi empirique, connue sous le nom de loi de Bode, fait connaître la distance relative des diverses planètes au Soleil. On écrit la série des nombres:

0 3 6 12 24 48 96 192

dont chaque terme se forme à partir du second en dou-

plant le terme précédent ; on ajoute 4 à chaque terme et on divise par 10 ; les nombres ainsi obtenus :

0,4 0,7 1,0 1,6 2,8 5,2 10 19,6

font connaître les distances relatives des diverses planètes au Soleil, celle de la Terre étant prise comme unité. La distance 2,8 correspond à la moyenne distance de l'essaim des petites planètes télescopiques qui circulent entre Mars et Jupiter.

Les planètes qui gravitent entre la Terre et le Soleil sont dites planètes inférieures : Ce sont Mercure et Vénus ; les autres sont les planètes supérieures. Comme les durées des révolutions des planètes autour du Soleil sont différentes, il arrive forcément que la Terre les voit à des intervalles réguliers dans la direction du Soleil. Pour les planètes inférieures, ces conditions sont remplies deux fois pendant une révolution synodique de la planète : la première fois, lorsque la planète est la plus voisine de la Terre et se trouve entre la Terre et le Soleil, c'est la *conjonction inférieure ou intérieure ;* la seconde fois, lorsque la planète est le plus loin de nous et au delà du Soleil, c'est la *conjonction supérieure ou extérieure.*

Pour les planètes supérieures, elles sont vues alternativement dans la direction et au delà, c'est l'époque de la *conjonction*, ou bien à l'opposé du Soleil, c'est l'époque de l'*opposition.*

Les masses des planètes sont données par le tableau suivant, la masse de la Terre étant prise pour unité.

Valeur comparée des masses des planètes

Mercure	0,081	Jupiter	339
Vénus	0,787	Saturne.	102
La Terre. . . .	1,000	Uranus	13,4
Mars.	0,132	Neptune	14

Comme les actions attractives exercées par les planè
tes sur notre atmosphère sont proportionnelles a
produit de leur masse par celle de la Terre et en raiso
inverse du carré de leur distance ; comme, d'autre part
l'intensité lumineuse et calorifique qu'elles reço
du Soleil est en raison inverse du carré de leur dis
de même que l'intensité des rayons qu'elles réfl
sent jusqu'à nous, on voit que si l'action des g
planètes tend à prédominer par suite de leurs d
sions et de leur masse, elle se réduit au contr
cause de l'augmentation de leur distance. Elle n
pour aucune être bien considérable. La plan
mieux placée pour intervenir dans les phénomè
notre atmosphère serait Jupiter à raison de sa
énorme et de sa moyenne distance. Aussi, les sy
de prévision des phénomènes météorologiques
veulent faire intervenir les planètes dans les m
ments de notre atmosphère ont-ils recours en g
aux conjonctions ou oppositions de Jupiter. L'an
Jupiter correspond à 12 de nos années ; il y a
conjonction entre la Terre et Jupiter environ to
13 mois, et les conjonctions de la Lune et de J
arrivent à peu près tous les mois.

Voici, du reste, quelques renseignements sur la c
titution et les mouvements des diverses planètes :

Mercure. — Petite planète un peu plus grosse que l
Lune, court avec une grande rapidité dans le ciel e
parcourant 47 kilomètres par seconde. Son année n'e
que de 88 jours. Elle n'est visible dans le ciel que l
matin ou le soir, parce qu'elle reste toujours très voi
sine du Soleil.

Vénus. — Cette planète a à peu près la même gran
deur que la Terre. Sa faible distance au Soleil la ren

très lumineuse. C'est l'*étoile du berger* ou *du soir*, ou encore *Lucifer*, *étoile du matin;* elle devient visible à l'occident peu après le coucher du soleil, lorsqu'elle se

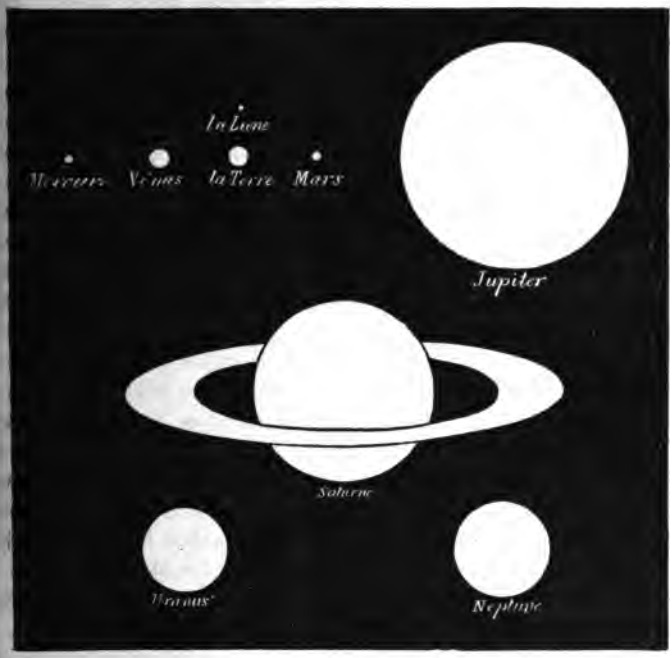


Fig. 11. — Grandeur comparée des planètes.

trouve dans la moitié de son orbite qui suit le soleil; elle est visible le matin avant le lever du soleil, lorsqu'elle occupe la portion opposée de son orbite. Cicéron a dit, en parlant de Vénus, qu'elle s'appelait Lucifer quand elle devançait le soleil, et Hesperus quand elle le suivait. L'année de Vénus est de 225 jours.

Vénus présente des phases comme la Lune; sa phase de pleine lune a lieu lorsqu'elle est le plus loin de la Terre et sa phase de nouvelle lune lorsqu'elle en est le plus près. Les phases introduiraient une variation d'éclat considérable si l'augmentation de sa partie éclairée ne concordait précisément avec un plus grand éloignement. Le maximum d'éclat a lieu lorsqu'elle se trouve à sa phase de demi-lune et occupe sa moyenne distance de la Terre. Vénus est invisible en moyenne pendant quatre mois (un mois avant et après chaque conjonction), et visible pendant sept mois comme étoile du soir ou comme étoile du matin. Lorsqu'elle présente son maximum d'éclat, elle peut éclairer assez les objets en l'absence de la Lune pour porter sur le sol une ombre visible avec quelque attention.

Vénus, par ses dimensions, sa distance au Soleil, présente de grandes analogies climatériques avec la Terre. Les partisans de la pluralité des mondes la considèrent comme l'une des planètes les plus habitables.

Mars est une petite planète dont l'éclat rougeâtre l'a fait adopter, dès l'antiquité, pour symboliser le dieu des batailles; elle présente aux pôles des taches blanches qui correspondraient aux neiges polaires, tandis que les taches bleues et rouges de son disque correspondraient à ses mers et à ses continents. L'astronome Schiaparelli a étudié des détails particuliers de sa surface qui présentent beaucoup d'analogie avec un gigantesque système de canaux d'irrigation.

Jupiter brille dans le ciel comme une étoile de première grandeur, il tourne très rapidement sur lui-même en 10 heures environ; son disque, examiné au télescope, présente une alternance de bandes sombres et de bandes brillantes.

Saturne est entouré dans le plan de son équateur par trois anneaux concentriques. Les anneaux passent par un maximum de visibilité à 14 ans d'intervalle avec un minimum intermédiaire.

Uranus et Neptune sont caractérisées par un faible diamètre et un très grand éloignement, ce qui réduit considérablement leur visibilité. Uranus, découverte vers la fin du XVIII^me^ siècle, ne brille dans le ciel que comme une étoile de sixième grandeur. L'existence de la planète Neptune ne fut établie qu'en 1846. M. Le Verrier détermina, le 31 août, au moyen du calcul, la position qu'elle devait occuper dans le ciel, et le 23 septembre, M. Gall, de Berlin, trouva une planète dans la région indiquée. Elle était jusque-là passée inaperçue.

LES COMÈTES

Les comètes sont des astres qui, comme les planètes, se meuvent dans le ciel en circulant autour du Soleil et leur éclat est dû en partie à sa lumière.

Une comète se compose en général d'un point brillant appelé noyau, environné d'une nébulosité qui s'allonge et présente la forme d'une traînée lumineuse, à laquelle on a donné le nom de *queue*, tandis que la partie qui entoure le noyau a reçu celui de *chevelure*. Quelques comètes se réduisent à un noyau sans chevelure ni queue; d'autres, au contraire, manquent de noyau. Lorsqu'elles possèdent une queue, celle-ci se développe toujours à l'opposé du Soleil, comme si la matière ténue dont ces astres sont formés, était soufflée par un vent émanant du Soleil à la façon d'un gigantesque et brillant panache de fumée.

La nébulosité qui forme la chevelure et la queue d'une comète est semblable à une vapeur d'une extrême transparence, au travers de laquelle les plus petites étoiles peuvent être aperçues. Le noyau serait dû à une plus grande condensation de cette vapeur. Le spectroscope indique dans la matière des comètes la présence de carbures d'hydrogène. La très faible masse des comètes les rend très sensibles à l'attraction des planètes dans le voisinage desquelles elles passent. Quand une comète passe près d'une planète, sa trajectoire est fortement altérée ; mais celle de la planète ne subit aucune modification. On pourrait donc craindre que les comètes, en circulant autour du Soleil, ne se rapprochent assez de nous pour rencontrer notre globe; mais, à cause de l'extrême division de leur matière, le choc qui en résulterait, serait inférieur à celui éprouvé par une balle de fusil traversant une toile d'araignée. La plus grande perturbation apportée à notre atmosphère par la rencontre d'une comète serait le mélange de sa nébulosité avec les gaz de notre atmosphère. Mais les indications du spectroscope semblent établir que la matière qui les constitue, ne présente aucune propriété toxique.

Les comètes ont cependant de tout temps impressionné plus ou moins les agriculteurs par leurs dimensions considérables, leur éclat et la soudaineté avec laquelle elles apparaissent dans le ciel.

Tandis que les planètes décrivent une orbite presque circulaire autour du Soleil et que leur distance à la Terre ne varie pas au delà des dimensions de leur orbite, les comètes, au contraire, décrivent des ellipses extrêmement allongées. Lorsqu'elles en atteignent l'extrémité la plus rapprochée du Soleil, elles passent à une faible distance de nous; lorsqu'elles occupent le diamètre op-

posé de leur orbite, elles s'éloignent bien au delà des planètes les plus éloignées de nous. L'orbite de quelques comètes se ferme même si loin de notre terre que nous ne les voyons jamais revenir.

Parmi les comètes périodiques, on peut citer celle de Halley, vue en 1835, qui reparaîtra en 1911, les comètes de Encke, de Biela, de Faye.

Parmi les comètes célèbres figurent la comète de 1556, dite de Charles-Quint; celle de 1680 ou de Newton, la comète à six queues de 1744, la comète de 1811 et celles plus récentes de 1858 et de 1882.

On a attribué à la comète de 1811 la qualité exceptionnelle du vin récolté cette année; mais il n'y a évidemment qu'une raison de coïncidence, et les conditions météorologiques spéciales à cette

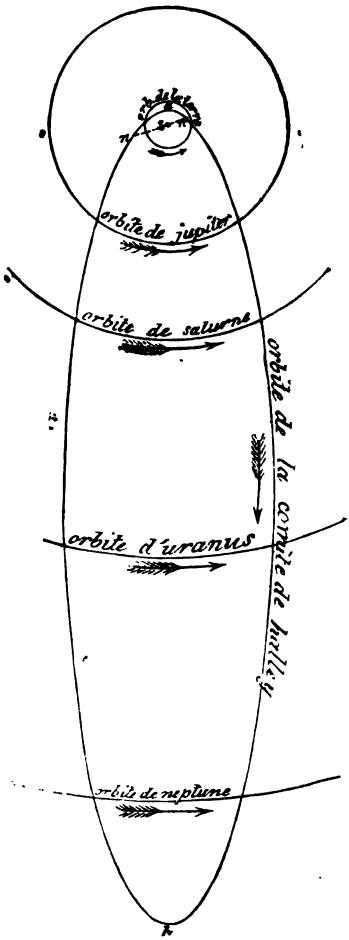


Fig. 12. — Orbite d'une comète

année ont présidé plus directement à la qualité de la vendange. On remarque, en effet, qu'une gelée de printemps diminua sensiblement la quantité de la récolte et il en résulta de ce seul fait une augmentation de la qualité. L'influence des comètes a du reste été invoquée pour bien d'autres événements de la vie des peuples. L'homme aime souvent à rapporter à des causes éloignées, mais éclatantes, les phénomènes qui se rattachent souvent à des causes très voisines de lui, mais trop modestes pour s'être fait remarquer.

LES ÉTOILES

A des distances incomparablement plus grandes que les dimensions de notre système planétaire, brillent dans le ciel une infinité de soleils dont le nombre a été comparé à celui des grains de sable de la mer. Cette comparaison, qui n'est pas tout à fait exacte si elle ne s'applique qu'aux étoiles visibles, se rapproche assez de la vérité, si l'on songe que certains amas d'étoiles (nébuleuses résolubles) ne renferment pas moins de 20,000 étoiles dans une étendue du ciel qui ne recouvrirait que la dixième partie du disque de la Lune.

Les étoiles les plus voisines de nous sont à une distance telle que la lumière qui nous en vient, bien que marchant à raison de 300,000 kilomètres par seconde, met plus de trois ans pour arriver jusqu'à nous. Par suite de cet éloignement, les étoiles devraient nous apparaître comme des points lumineux imperceptibles. Si elles occupent dans le ciel un emplacement appréciable, cette apparence est due à un phénomène d'*irra-*

diation qui nous porte à exagérer les dimensions des objets vivement éclairés.

Les dimensions des étoiles sont, de plus, exagérées par l'impression qui résulte de leur changement apparent d'éclat, c'est-à-dire de leur *scintillation*. On sait que deux vagues qui marchent à la rencontre l'une de l'autre peuvent s'annuler en se superposant, si le plein d'une vague se superpose au creux de l'autre. De même deux vagues lumineuses (*ondulations*), émises simultanément par une étoile, peuvent, dans la route si longue qu'elles ont à parcourir, subir des retards différents qui les font se superposer dans notre œil, tantôt pour ajouter leur effet, tantôt pour s'entre-détruire. Il en résulte des variations continues de l'intensité lumineuse des étoiles. Les planètes plus rapprochées de nous se distinguent des étoiles parce qu'elles ne scintillent que très faiblement.

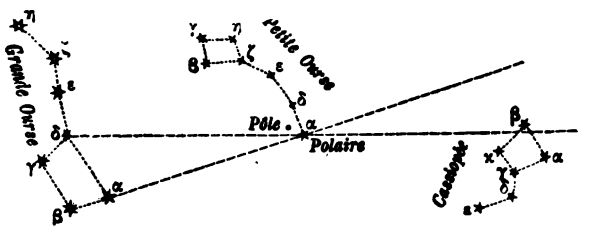


Fig. 13. — Alignement de l'étoile polaire.

Les étoiles les plus brillantes sont dites de première grandeur. Les lignes qui les joignent dans le ciel dessinent des contours que l'on a rapportés, dès l'antiquité, à des apparences fantastiques auxquelles on a donné le nom d'un animal ou d'une divinité. Ces groupes d'étoiles constituent les *constellations*, et les étoiles qui forment une même constellation peuvent se trouver à des dis-

tances très différentes de notre terre et n'ont entre elles aucune connexion de mouvement. Chaque étoile peut, du reste, se mouvoir et faire partie d'un système d'astres en mouvement; mais leur éloignement de nous est tel que les déplacements qu'elles subissent dans le ciel restent, en général, inappréciables.

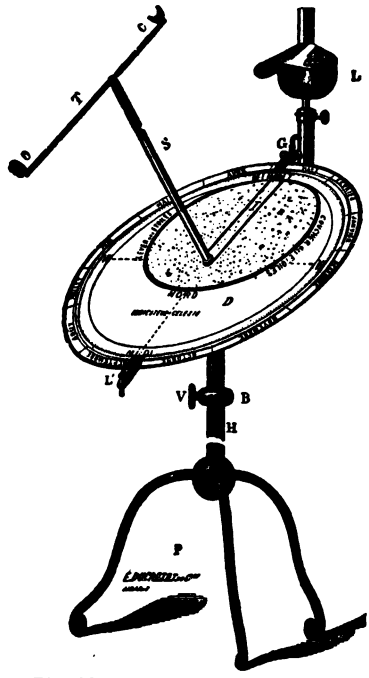


Fig. 14. — Indicateur céleste de Maupérin.

Les plus connues des constellations sont la Grande-Ourse et la Petite-Ourse, encore appelées le Grand et le Petit-Chariot. La Grande-Ourse, avec ses quatre étoiles disposées en quadrilatère et les trois étoiles brillantes de sa queue, se distingue facilement dans le ciel du côté du Nord; elle est assez rapprochée du pôle pour briller toujours au-dessus de l'horizon.

Si l'on élève sur le plus grand côté du quadrilatère, en son milieu et à l'extérieur, une perpendiculaire, cette ligne passe à une distance égale à trois fois et demi la dimension moyenne de la plus grande longueur du quadrilatère dans le voisinage de l'étoile qui

représente l'insertion de la queue de la Petite-Ourse. On trouve facilement la Petite-Ourse par ce procédé, bien qu'elle soit infiniment moins brillante que la Grande-Ourse. Sa forme est à peu près semblable à celle de la Grande-Ourse.

La Petite-Ourse présente un intérêt particulier, parce que la dernière étoile de sa queue est située dans le voisinage immédiat du pôle de la sphère céleste ; on l'appelle l'*étoile polaire ;* elle sert à trouver la direction du Nord et permet de s'orienter pendant la nuit. La queue de la Petite-Ourse est dirigée en sens inverse de la queue de la Grande-Ourse.

On peut encore trouver l'étoile polaire par un autre procédé ; il suffit, en effet, de prolonger les deux étoiles du côté du quadrilatère opposé à celui où s'insère la queue de la Grande-Ourse de cinq fois environ la distance qui les sépare, en s'éloignant du côté où s'insère la queue pour rencontrer assez exactement l'étoile polaire. Celle-ci se distingue, du reste, assez facilement, des étoiles voisines, par un vif éclat.

L'indicateur céleste de Maupérin, construit par M. Ducretet, permet de trouver dans le ciel, à l'aide d'un viseur, la position des différents groupes d'étoiles repérés sur une carte céleste qui fait partie de l'appareil.

BIBLIOGRAPHIE (1)

Young.— Le Soleil.
Secchi.— Le Soleil.
Faye.— Sur la formation de l'Univers et du monde solaire. Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'an 1885.
— Sur l'origine du Monde. Idées cosmogoniques des anciens et des modernes.
Delaunay.— Cours élémentaire d'astronomie.
Dufailly.— Cours élémentaire de cosmographie.
Pichot — —
Audoynaud.— Entretiens familiers sur la cosmographie.
Flammarion — Les Terres du ciel.
Annuaire du Bureau des Longitudes.

(1) En insérant une bibliographie à la fin de chaque chapitre, je n'ai pas eu l'intention de signaler toutes les sources que l'on pourrait consulter pour vérifier ou compléter les documents qui en font l'objet. J'ai voulu indiquer seulement les ouvrages et mémoires principaux où le lecteur pourrait trouver des éclaircissements ou des détails sur les points saillants qui sont traités dans chaque chapitre. Ce n'est donc pas une bibliographie complète, mais plutôt l'indication des ouvrages qui m'ont paru les plus utiles à consulter.

CHAPITRE II

CE QUI NOUS VIENT DU SOLEIL

«Tu t'éveilles bienfaisant, ô soleil ! tous ceux qui sont goûtent par toi les souffles de la vie ; tu es béni de toute créature.»

Ainsi débute un hymne de la vieille Egypte, cette terre du blé et du soleil, où deux fois par an le moissonneur voit le froment mûrir et tomber sous sa faucille.

A des milliers d'années de là, un de nos meilleurs poètes, celui peut-être qui s'est le mieux inspiré des harmonies de la nature en plein air, écrivait lui aussi son hymne au soleil :

> Tu règnes en vainqueur sur toute la nature,
> O soleil ! et des cieux où ton char est porté,
> Tu lui verses la vie et la fécondité.

Un des plus intéressants résultats auxquels soient arrivés les physiciens de notre siècle, est certainement la démonstration de l'unité des forces physiques. La chaleur et la lumière notamment se révèlent comme deux manifestations très voisines du mouvement. L'une et l'autre déterminent chez nous des sensations très particulières, la chaleur, le froid, les impressions lumineuses, qui toutes ont été rapportées à la propagation

d'ondulations particulières développées dans un certain milieu qui remplit l'espace et pénètre les corps, et que les physiciens ont appelé l'Ether.

Tout le monde a vu une pierre tomber dans un bassin et le choc du solide contre le liquide créer à la surface de l'eau une série de rides concentriques qui ondulent en courant rapidement vers les bords du bassin. Ainsi fait le soleil qui envoie jusqu'à nous ses ondulations calorifiques et lumineuses. Qui lui a lancé la première pierre à ce bon soleil? Quelqu'un, sans doute. Qui lui en lance peut-être à chaque instant pour entretenir le mouvement de ses ondulations....? Questions délicates et auxquelles tout le monde ne répond pas exactement de la même manière ; mais passons. Tout ce que nous savons bien, c'est que, depuis des milliers d'années, le soleil ne cesse d'envoyer jusqu'à nous des ondulations de différentes grandeurs.

Les ondulations les plus larges correspondent à la chaleur ; elles n'impressionnent pas notre œil ; les ondulations plus courtes agissent sur notre rétine ; elles sont lumière et chaleur à la fois. Des ondulations plus courtes encore passent inaperçues pour notre œil, n'apportent avec elles que des traces de chaleur, mais agissent activement pour provoquer des combinaisons ou des décompositions chimiques. Voilà *ce qui nous vient du soleil;* tout cela se tient de bien près, puisque tout cela est *mouvement* et *ondulations*. Une même ride, échappée du soleil, peut apporter à la fois chaleur, lumière et énergie chimique ; aussi verrons-nous un peu plus loin qu'il est parfois très difficile de savoir quel est de ces trois agents celui qui agit sur les plantes de l'agriculteur. Il y a tant de bonnes choses dans un petit rayon de soleil.

Nous allons examiner successivement comment varie dans le cours de l'année l'activité de chacun des trois facteurs qui rentrent dans la constitution d'un rayon

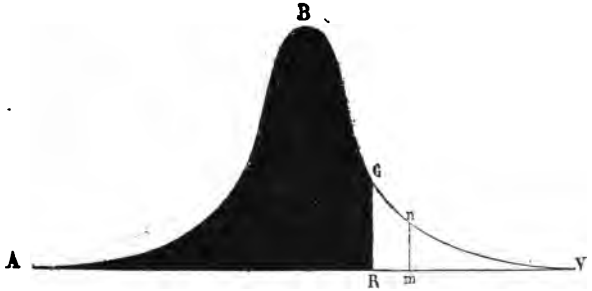


Fig. 15. — Répartition de la chaleur dans le spectre. La surface A B C R représente la quantité de chaleur obscure, la surface C R V la quantité de chaleur lumineuse d'un rayon de soleil décomposé par un prisme. Le spectre visible commence en R; le maximum de lumière a lieu en *m*; le maximum de chaleur en B.

de soleil et comment on peut mesurer l'intensité essentiellement variable de la chaleur, de la lumière et de l'énergie chimique du soleil.

§ I. — LA CHALEUR DU SOLEIL

Stéphenson, admirant avec un légitime orgueil sa locomotive s'enfuir à grande vitesse sous l'impulsion de la vapeur, se plaisait à en attribuer tout le mérite au soleil qui avait présidé à la fabrication du combustible. L'agriculteur, en regardant ses récoltes grandir dans son champ, pourrait faire une réflexion analogue. Aucun des facteurs météorologiques dont la marche annuelle détermine en

partie le succès des entreprises agricoles n'exerce sur le sol et la végétation une action comparable à celle de la chaleur du soleil.

La pression barométrique, les vents, la pluie, son sous la dépendance directe de la température de l'air mais celle-ci relève de la chaleur du soleil ; elle obéit plus ou moins docilement à ses variations dans le cours de l'année et sa progression continue pendant les beaux jours de l'été montre suffisamment que la température du lendemain est étroitement liée à la chaleur que le soleil a envoyée la veille.

Indépendamment de cette suprématie de premier moteur, la chaleur solaire exerce encore sur la végétation une action tout à fait directe que la température de l'air est incapable de mesurer. Les plantes n'ont pas seulement besoin pour vivre de la chaleur de l'air, il leur faut encore, pour mûrir leurs fruits, la lumière, et surtout la chaleur du soleil.

Les archives météorologiques ont depuis un demi-siècle recueilli de volumineux registres d'observations ; on y voit figurer les températures maxima, minima et moyenne, les hauteurs barométriques, les pluies et l'évaporation ; il n'y est presque jamais question de la chaleur du soleil. D'où vient cet oubli ? Quelles sont les méthodes qui permettent de le réparer ?

Lorsqu'on entreprend l'étude d'un groupe de phénomènes aussi divers, mais aussi bien enchaînés que ceux dont s'occupe la météorologie, on donne en général la préférence à ceux dont la facile mesure permet d'employer le plus grand nombre de bonnes volontés, persuadé qu'il suffit de mesurer bien exactement l'un des termes pour que sa connaissance rigoureuse supplée à la détermination des autres. Une simple lecture sur une

tige graduée donne la température de la journée ; il faut des appareils plus compliqués, des calculs plus laborieux, pour déterminer l'énergie que le soleil verse chaque jour à la surface du sol.

Pour élever la température de 1 gramme d'eau de 1 degré centigrade, il faut une quantité de chaleur bien déterminée que les physiciens ont prise pour unité en la désignant sous le nom de *calorie*. Si le soleil fournit dans une minute, à une surface de 1 centimètre carré, une quantité de chaleur suffisante pour élever de 2 degrés la température de 1 gramme d'eau ou de 1 degré la température de 2 grammes d'eau, on dit que la radiation solaire est par minute de 2 calories, ou simplement que l'intensité du rayonnement solaire est de 2 calories.

Le soleil est une masse incandescente qui rayonne constamment, et avec une grande régularité, un nombre prodigieux de calories. La terre, placée à la distance de 150 millions de kilomètres du soleil, n'intercepte qu'une fraction de cette quantité de chaleur tout à fait insignifiante, et c'est à $\frac{1}{2300000000}$ de la chaleur du soleil que tout ce qui s'agite à la surface de notre globe doit le mouvement et la vie.

Admettons que le débit de la chaleur émise par le soleil soit rigoureusement constant, la terre en recevra-t-elle toujours la même quote-part ? Oui, sans doute, mais moyennant une double condition : 1° que la distance de la terre au soleil reste toujours la même ; 2° que rien ne vienne modifier la transparence des espaces qui nous séparent de l'astre central.

La terre, dans sa course annuelle autour du soleil, décrit une circonférence imparfaite ou ellipse, et sa distance au soleil varie perpétuellement en repassant an-

nuellement par les mêmes valeurs. Au 1er janvier, le soleil est à 146; au 1er juillet, à 150 millions de kilomètres de la terre. Le soleil de janvier, plus voisin de nous, nous apporte donc plus de chaleur que le soleil de juillet et le rapport de l'intensité calorifique de l'hiver à celle de l'été serait, aux limites de notre atmosphère, 100 pour 96,5. On peut donc dire que c'est pendant notre hiver que la terre utilise la plus grande proportion de l'énergie solaire.

Mais il ne suffit pas que la chaleur du soleil arrive jusqu'à notre atmosphère; il faut qu'elle pénètre jusqu'à la surface du sol, où son utilisation présente le plus d'intérêt. Si l'air des régions supérieures absorbait toute la chaleur solaire, sa mauvaise conductibilité laisserait la surface du sol à une température bien inférieure à 0°, car, pendant la nuit, les nuages rayonneraient inutilement vers l'espace la chaleur qu'ils auraient emmagasinée pendant le jour. La solution du problème de la radiation solaire consiste à déterminer la quantité de chaleur que l'atmosphère laisse, pour chaque jour de l'année, arriver jusqu'au sol.

La quantité de chaleur qui pénètre jusqu'à nous dépend essentiellement de la *transparence* de l'air et de son *épaisseur*. On appelle transparence de l'air le rapport de la quantité de chaleur qui le traverse à celle qui se présente pour le traverser. S'il tombe à la surface de l'air 2 calories, et s'il n'en arrive que 1 à la surface du sol, la transparence est de 1/2 ou 0,50. La transparence moyenne diurne de l'atmosphère, à égalité d'air traversé et pour un ciel qui paraît également pur, peut varier de 0,47 à 0,71 aux différents mois de l'année.

On peut se représenter l'atmosphère où nous vivons comme une nappe immense, environ 40 fois plus large

qu'épaisse. Lorsque le soleil est à l'horizon, il doit, pour arriver jusqu'à nous, traverser cette nappe dans le sens de sa plus grande dimension ; lorsqu'il est monté très haut dans le ciel, comme à midi du 21 juin, ses rayons n'ont guère à traverser que l'épaisseur de cette même nappe. De telle sorte que le trajet que le rayon parcourt dans l'air peut varier, du matin au soir, de 1 à 20.

Il s'en faut de beaucoup, du reste, que la chaleur du soleil ne varie qu'entre ces limites. En effet, supposons que l'air ait une transparence de 0,60 ; si la radiation est 1 en dehors de l'atmosphère, elle sera 0,6 après avoir traversé l'air sous sa plus petite épaisseur. Si cette fraction de rayons 0,6 qui ont échappé à l'absorption doit traverser une deuxième épaisseur égale à la première, il n'en traversera que les 0,6, soit $0,6 \times 0,6 = 0,36$. Si, enfin, ces 0,36 de radiation traversent une troisième épaisseur, le sol ne recevra que $0,6 \times 0,36 = 0,216$. La chaleur solaire est donc réduite au 1/5, tandis que l'épaisseur a seulement triplé. Le calcul indique que, après avoir traversé 20 épaisseurs, la radiation subsistante ne serait pas les 0,00006 de la radiation aux limites de l'atmosphère. On voit ainsi que les deux facteurs, *épaisseur* et *transparence*, peuvent faire varier, dans des limites très étendues, la quantité de chaleur qui nous arrive du soleil.

Et d'abord, comment varie l'épaisseur de l'air que les rayons ont à traverser? Le soleil, observé tous les jours à midi, n'est pas toujours à la même hauteur au-dessus de l'horizon. A Montpellier, au 21 juin, il est à 71° au-dessus de l'horizon ; au 21 décembre, il n'est qu'à 24°. Or, de même que le soleil traverse à l'horizon une épaisseur vingt fois plus grande qu'au zénith, le calcul

enseigne que l'épaisseur d'air traversée en décembre est deux fois et demi plus grande qu'en juin. La chaleur solaire devrait donc croître progressivement du 21 décembre au 21 juin, et décroître règulièrement à partir de cette époque ; il n'y aurait dans le cours de l'année qu'un seul maximum et qu'un seul minimum de la radiation solaire. On peut facilement, connaissant les épaisseurs d'air traversées aux différents mois de l'année, calculer, en admettant une transparence moyenne de 0,6, la marche annuelle de la radiation solaire. Le tableau suivant met en regard des intensités déduites du calcul celles expérimentalement observées de 1881 à 1885.

Intensités calorifiques à midi

	Déc.	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.
Epaisseurs.	2.55	2.38	1.78	1.43	1.20	1.10
Intensités théoriques .	0.54	0.50	0.80	0.94	1.04	1.11
Intensités observées .	0.92	0.96	1.02	1.06	1.15	1.12
	Juin.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.
Épaisseurs.	1.06	1.08	1.15	1.34	1.61	2.13
Intensités théoriques .	1.15	1.11	1.08	0.98	0.85	0.65
Intensités observées .	1.09	1.12	1.01	1.03	1.00	1.02

Cette variation mensuelle de la radiation solaire, due à l'inégale épaisseur d'air traversé, a son analogue dans l'intervalle d'une journée ; l'intensité calorifique devrait croître rapidement à partir du lever du soleil, puis de moins en moins vite aux approches de midi, pour décroître en suivant dans sa chute une loi entièrement symétrique. Le tableau suivant montre pour une journée de juillet la comparaison des résultats du calcul avec ceux de l'expérience :

Marche horaire des intensités calorifiques

	7 h. m.	10 h.	11 h.	12 h.	1 h. s.	2 h.	5 h.
Epaisseurs	2.35	1.20	1.11	1.08	1.11	1.20	2.35
Intensités théoriques . .	0.47	1.04	1.11	1.16	1.11	1.04	0.47
Intensités observées. . .	0.98	1.19	1.20	1.16	1.16	1.18	0.98

D'où vient un tel désaccord observé dans les tableaux précédents entre le calcul et l'expérience? Évidemment de ce qu'on a négligé un terme très important : la transparence de l'air.

Rien de plus faux que les locutions : transparent comme l'air, limpide comme l'eau, lorsqu'il s'agit de la chaleur solaire. L'air sec, il est vrai, absorbe très faiblement la chaleur; mais à peine l'eau vient-elle se mélanger à lui que l'absorption paraît augmenter dans d'énormes proportions. Tyndall a montré que l'air humide de son laboratoire, quoique ne renfermant que 0,5 pour 100 en poids de vapeur d'eau, absorbait 72 fois plus que l'air, et que, par un état hygrométrique moyen, une épaisseur d'air humide de 3 mètres absorbait un dixième de la chaleur qui se présentait pour la traverser.

Bien qu'il ne soit pas vrai que la loi d'absorption avec l'épaisseur signalée plus haut s'applique exactement, lorsqu'on conclut de très petites à de très grandes épaisseurs, on peut toutefois juger de l'absorption considérable que peut causer la vapeur d'eau disséminée dans une épaisseur d'air de plusieurs kilomètres.

Mais quel moyen avons-nous de mesurer la transparence de l'air? Aucun, si ce n'est de déterminer la valeur de la radiation solaire pour diverses épaisseurs de l'atmosphère à la surface du sol et de juger, par son affaiblissement avec l'épaisseur traversée, du degré de

transparence de l'air. On voit donc que l'étude pratique de la marche de la radiation solaire réside dans la détermination directe des intensités calorifiques aux divers instants de la journée et de l'année.

Le principe de la méthode est le suivant : On expose au soleil une boîte pleine d'eau; un thermomètre donne la température de la boîte avant et après l'échauffement. Supposons que la surface de la boîte exposée au soleil soit de 200 centim. carrés, le poids de l'eau qu'elle contient 100 gr. et que la température se soit élevée de 10° en cinq minutes. Le nombre de calories reçues sera évidemment $100 \times 10 = 1{,}000$, et par minute et centimètre carré, $1{,}000/200 \times 5 = 1$ calorie.

Tel est l'instrument connu sous le nom de *pyrhéliomètre* qui donne, moyennant quelques corrections et quelques modifications dans la méthode opératoire, la valeur absolue de la radiation solaire. En réalité, une détermination effectuée avec le pyrhéliomètre est un peu plus compliquée et dure un quart d'heure. Aussi a-t-on cherché à simplifier l'appareil, tout en réduisant la durée de l'observation. L'*actinomètre* de M. Crova consiste essentiellement en un thermomètre à alcool, à réservoir gros et sphérique, enfermé dans une sphère en métal poli. Celle-ci présente un orifice fermé par un écran mobile qui permet à un faisceau de soleil d'arriver, pendant un temps déterminé, sur le réservoir noirci du thermomètre. L'alcool s'échauffe et sa dilatation par minute donne la mesure de la quantité de chaleur rayonnée par le soleil. Une opération ne dure que cinq à six minutes.

Le manuel pratique opératoire qui se rattache à la manipulation de cet instrument est du reste fort simple:

1° On dispose l'appareil verticalement, le réservoir

dirigé vers le haut, et on ouvre au soleil la boîte sphérique qui protège le réservoir. Cette opération a pour but de faire engager dans la tige graduée un index de mercure indicateur des dilatations successives dues à l'apport de la chaleur solaire. Aussitôt que l'index a apparu à l'origine de la graduation de la tige, on re-

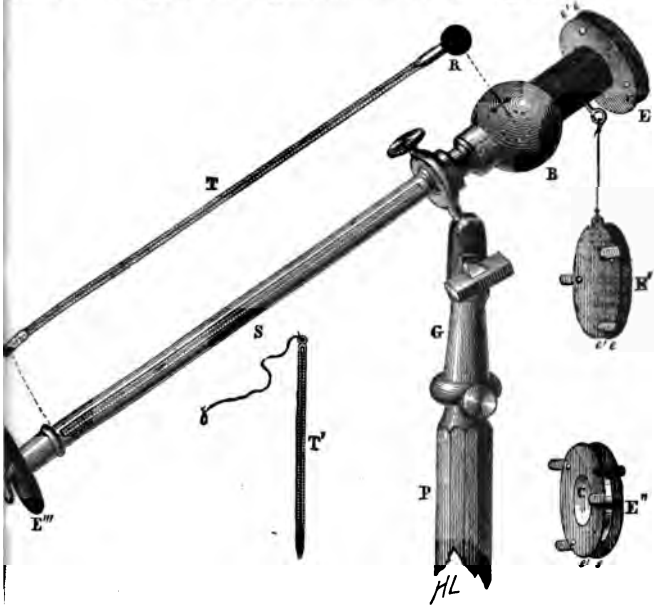


Fig. 16. — Actinomètre de Crova.

dresse l'instrument et on ferme l'enveloppe sphérique.

2° On oriente l'appareil dans la direction des rayons de soleil, en faisant en sorte que l'ombre portée par l'écran antérieur recouvre exactement l'écran postérieur adapté à l'appareil.

3° Au moment où l'aiguille des secondes d'une montre passe à 0, on lit en millimètres sur la tige graduée la position de l'index n_0. Au bout de 60 secondes, on lit de nouveau n_1. On lit encore une fois, 60 secondes après, la position n_2 de l'index, l'écran de fermeture étant toujours placé sur l'orifice de réception du faisceau de soleil.

A ce moment on enlève l'écran protecteur et l'observation au soleil commence; on répète deux fois la lecture à une minute d'intervalle, on obtient pour l'index les positions n_3, n_4.

La lecture n_4 aussitôt faite, on replace l'écran qui ferme l'admission du rayon de soleil, et on lit encore deux fois à l'ombre la position de l'index n_5, n_6 à une minute d'intervalle.

La moyenne des avancements de l'index à l'ombre est égale à $\frac{n_2 - n_1 + n_6 - n_5}{2} = N'$

La valeur de l'avancement de l'index au soleil est $n_4 - n_3 = N''$. La marche corrigée de l'index est égale à $N'' - N' = N$ et est proportionnelle à la quantité de chaleur rayonnée par le soleil pendant la 4mo minute d'observation. Un coefficient déterminé par l'étalonnement de chaque instrument par le pyrhéliomètre fait connaître la valeur de l'intensité de la radiation par minute en petites calories par centimètre carré. Dans les appareils en usage, une marche corrigée de 20 à 30^{mm} correspond à une intensité de 1 calorie.

Si l'on étudie à l'aide de cet instrument, pendant l'intervalle d'une journée, les valeurs successives de la radiation solaire, on est frappé de l'irrégularité que présente son accroissement. Même par un ciel très pur en apparence, ce n'est que par une série d'oscillations par

fois assez accentuées que la radiation atteint son maximum et s'éteint vers le soir. De là la nécessité de recourir à un automate enregistreur pour avoir le graphique de la radiation aux divers instants de la journée.

Tout le monde connaît, de nom au moins, la *pile thermoélectrique*. Un fil de fer soudé à ses deux extrémités à un fil de cuivre donne naissance à un courant lorsqu'on chauffe l'une des soudures. L'expérience montre que l'énergie du courant produit est proportionnelle, dans certaines limites de température, à l'échauffement de la soudure. Si nous exposons au soleil une soudure ayant la forme d'un disque mince, il nous suffira de mesurer l'intensité du courant électrique engendré pour juger de l'intensité de la radiation solaire.

Lorsqu'un courant électrique passe au-dessous d'un barreau aimanté librement suspendu, l'aimant dévie et sa déviation est proportionnelle à l'intensité du courant. Un tel instrument porte le nom de *galvanomètre*. Supposez que l'on puisse attacher un crayon à l'une des extrémités du barreau aimanté sans que le frottement du crayon empêche la déviation de l'aimant, il suffirait de faire dérouler une feuille de papier au-dessous du crayon pour avoir un tracé reproduisant l'intensité du courant électrique, et par suite celle de la radiation solaire qui en est la cause, à tout instant de la journée. En pratique, on a remplacé le crayon par un faisceau de lumière, qui, réfléchi par un miroir fixé au barreau aimanté, dévie sur une feuille de papier photographique, en y inscrivant une déviation proportionnelle à celle du miroir et, par suite, du barreau aimanté. C'est, on le voit, un crayon qui ne pèse pas et qui amplifie beaucoup les indications du galvanomètre.

Telle est la description très simplifiée de l'*actino-*

mètre enregistreur de M. Crova qui fonctionne depuis plusieurs années à l'Ecole d'agriculture de Montpellier

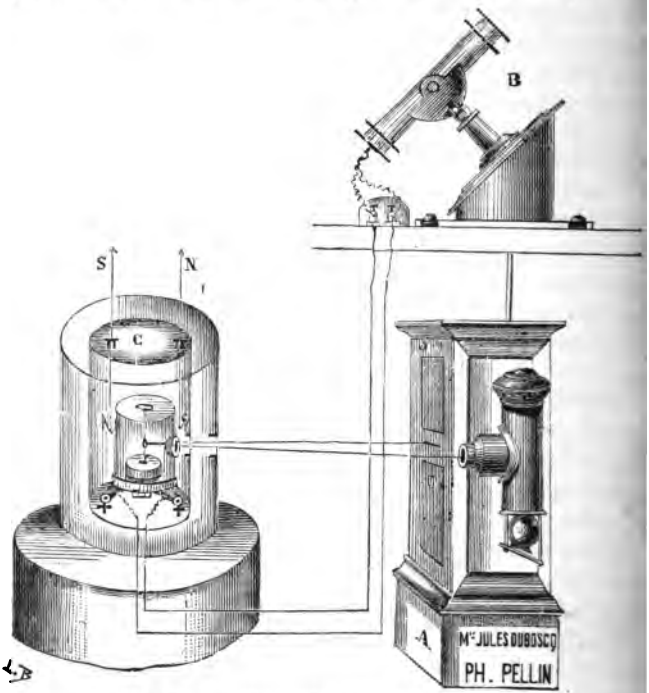


Fig. 17. — Actinomètre enregistreur Crova.

et a été adopté récemment par divers Observatoires, soit en France, soit à l'étranger. Cet appareil, créé à l'origine plus spécialement en vue de déterminer l'influence de la radiation solaire sur la végétation, a conduit à des résultats généraux des plus intéressants pour la science.

Les graphiques obtenus par l'enregistreur ont confirmé ce dont les observations discontinues avaient donné l'éveil, savoir: que l'intensité calorifique est, même par le ciel le plus pur, perpétuellement variable. Le faisceau de lumière indicateur, réfléchi par le miroir, trahit à chaque instant, par ses brusques déviations, le passage devant le soleil d'une légère brume que l'œil le plus exercé serait impuissant à reconnaître.

Ces mêmes tracés montrent encore que le maximum de la radiation solaire n'a pas lieu à midi, mais vers 11 heures du matin; que bien souvent le soleil de midi est moins chaud que celui de 2 heures du soir, et qu'enfin la première moitié de la journée apporte au sol plus de chaleur que la seconde. Ces résultats pouvaient du reste être prévus.

En effet, lorsque le soleil se lève par une matinée d'été, le refroidissement nocturne a condensé une partie des vapeurs que la chaleur de la veille avait versées dans l'atmosphère. La radiation monte assez rapidement et atteint son maximum au moment où l'obstacle créé par l'évaporation du sol compense exactement l'accroissement de la radiation, dû à l'élévation progressive du soleil au-dessus de l'horizon. Cet état d'équilibre est en général atteint de 10 heures et demie à 11 heures. A partir de cette date, l'obstacle croissant plus vite que la radiation, celle-ci baisse jusqu'à midi. Il n'est pas rare d'observer à ce moment une légère brume : c'est la vapeur d'eau qui vient de se condenser, en atteignant les hautes régions plus froides de l'atmosphère. Cette migration de la vapeur d'eau vers les hauteurs est, du reste, confirmée par la remarque de M. Jamin, que, bien que l'évaporation verse dans l'air en contact avec le sol des quantités d'eau considérables,

le poids de vapeur d'eau par mètre cube d'air varie très peu aux divers instants de la journée. La vapeur d'eau condensée à l'état de brume ou de nuage paraît exercer une absorption plus énergique que la vapeur dissoute. La présence d'un nuage, même léger, fait brusquement tomber la radiation dans le voisinage de zéro. Le soleil de midi ne tarde pas à dissiper la brume, qui se reforme de moins en moins vite à mesure que l'évaporation décroît à la surface du sol, et la radiation prend, vers 2 heures du soir, un second maximum, en général un peu inférieur à celui de 11 heures du matin, pour décroître lentement d'abord, puis de plus en plus vite, jusqu'au coucher du soleil. Telle est la physionomie d'une belle journée d'été.

Les journées d'hiver, où la vapeur d'eau est moins abondante, présentent une allure plus régulière; les dentelures des graphiques s'effacent et les deux maximum se fondent en un seul à midi. La marche de la radiation, avant et après midi, tend vers la parfaite symétrie, parce que la transparence de l'air reste constante pendant l'intervalle d'une journée. Aussi l'étude des variations diurnes de la radiation en hiver se prête-t-elle très bien à la détermination de la radiation solaire aux limites de l'atmosphère. On a donné le nom de *constante solaire* à cette quantité. On peut voir que la détermination de la constante solaire revient à rechercher quelle est la transparence constante qui assurerait, aux différentes heures de la journée, des radiations égales à celles que l'on observe. Supposons que la transparence, qui rend raison des variations de l'intensité calorifique pour diverses hauteurs du soleil au-dessus de l'horizon, soit 0,6 et que, l'épaisseur atmosphérique traversée étant 2, la radiation mesurée soit 0,86, il est

évident que, si l'épaisseur était 1 au lieu de 2, la radiation deviendrait 0,86/0,6=1,44, et, si l'épaisseur devenait 0 au lieu de 1, la radiation serait 1,44/0,6 = 2,4. Les déterminations de MM. Crova et Violle donnent $2^{cal.}$,4 comme valeur la plus probable de la radiation solaire aux limites de notre atmosphère. Des déterminations plus récentes, portant sur une atmosphère plus pure, ont donné à M. Crova, au sommet du Ventoux, et à M. Savelief, à Kiew, des valeurs plus voisines de 3 calories.

C'est là une détermination de la plus haute importance, qui permet de connaître la transparence de l'air pour les différents mois, notion absolument nécessaire pour fixer avec quelque certitude la quantité totale de chaleur que le soleil apporte à la terre dans le cours de l'année. Nous avons calculé ces transparences en admettant $2^{cal.}$,4 pour constante solaire et en faisant intervenir l'épaisseur atmosphérique traversée au 15 de chaque mois, ainsi que la valeur moyenne de la radiation solaire observée pour chaque mois pendant une série de trois années 1883-85. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Transparence et intensités calorifiques à midi

	Déc.	Janv.	Févr	Mars.	Avril.	Mai.
Transparence.	0.71	0.69	0.61	0.57	0.54	0.50
Intensité calorifique. . .	0.92	0.96	1.02	1.06	1.15	1.12
	Juin.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.
Transparence	0.48	0.49	0.47	0.53	0.58	0.67
Intensité calorifique. . . .	1 09	1.12	1.01	1.03	1.00	1.02

Les chiffres ci-dessus sont une frappante confirmation de la marche diurne de la radiation solaire. La transparence de l'air décroît régulièrement de décem-

bre jusqu'en juin, et l'état d'équilibre entre l'accroissement de la radiation et de l'opacité est atteint dès le mois d'avril. C'est l'époque où, le soleil étant déjà assez haut sur l'horizon, l'atmosphère, desséchée par les froids de l'hiver, est encore assez pauvre de vapeur d'eau. Ce premier maximum d'avril est l'analogue du maximum de 11 h. du matin. Au 21 juin, la radiation devrait être maxima, puisque le soleil est le plus haut possible au-dessus de l'horizon, et cependant ce *midi* de l'année est un minimum de radiation.

Une éclaircie a lieu en juillet, la radiation remonte ; c'est le maximum de 2 h. du soir ; puis les intensités calorifiques décroissent en oscillant jusqu'au mois de décembre. Si l'on divise l'année en deux parts à dater du 21 juin, on verra que les intensités calorifiques de la première moitié donnent une moyenne plus élevée que celles de la seconde.

L'analogie ne saurait donc être plus complète.

Une fois en possession des valeurs de la radiation solaire dans le cours de l'année et dans l'intervalle d'une journée, on pourrait, en supposant que le soleil ait brillé tous les jours, calculer dès maintenant la quantité de chaleur qu'il nous envoie par année. Mais ici intervient une considération qui complique quelque peu notre problème. Lorsqu'on dit que la radiation solaire vaut une calorie, on suppose le corps chauffé exposé perpendiculairement aux rayons du soleil ; tandis qu'en réalité le sol est une surface de réception dont l'obliquité varie du matin à midi et de l'hiver à l'été dans de très grandes limites. Or, plus un rayon est oblique, moins il échauffe le corps qui le reçoit : cela vient de ce qu'une même quantité de chaleur se répartit alors sur une même surface. La figure montre,

en effet, qu'une quantité de chaleur représentée par la surface du carré M N M_1 N_1, apportée par un faisceau de soleil de section M N, se répartit sur la surface M'' N_1 sous forme du rectangle M''N_1 M''N'' équivalent au carré M N M_1 N_1. La quantité de chaleur reçue sur une surface du sol P N_1, égale à la section M N du faisceau de soleil, n'est égale qu'au rectangle P N_1 P' N'', qui n'est qu'une fraction du rectangle M' N_1 M'' N'' d'autant plus faible que l'obliquité des rayons est plus grande.

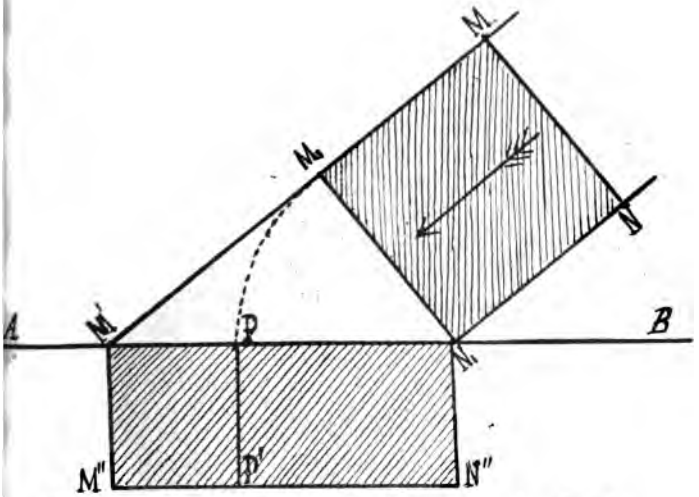


Fig. 18.— Etalement des rayons obliques à la surface du sol.

Le calcul permet du reste de déterminer exactement quel est l'échauffement réel du sol horizontal par rapport à la quantité de chaleur qu'il recevrait s'il était perpendiculaire aux rayons du soleil, quantité donnée par

l'observation de l'actinomètre. En décembre, par exemple, lorsque l'intensité est de 1 calorie à midi, le sol n'en reçoit que 0,39, en mars 0,70, en juin 0,94, en septembre 0,75.

Cette même diminution affecte inégalement les intensités calorifiques observées aux diverses heures de la journée et semble au premier abord rendre à peu près inaccessible la solution demandée. Cependant, lorsque la loi d'un phénomène est bien connue, il est bien rare que les mathématiques soient impuissantes à déterminer toutes les valeurs qui en dépendent ; les formules sont plus ou moins faciles à établir, les calculs plus ou moins laborieux ; mais la solution s'en dégage sans rien perdre de sa rigueur. Dans un récent travail publié dans les Annales du bureau central météorologique, M. Angot donne la valeur des quantités de chaleur reçues par jour à la surface d'un sol horizontal pour les divers mois de l'année, à différentes latitudes et pour des transparences variant de 0,9 à 0,6. Nous en avons déduit les quantités de chaleur reçues en un jour par le sol de Montpellier aux divers mois de l'année, en leur assignant la transparence indiquée par l'observation directe.

On obtient pour la moyenne des trois années successives 1883-1885 les valeurs suivantes :

Chaleur reçue en un jour

	Déc.	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.
Nombre de calories . . .	162	187	233	365	510	550
	Juin.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.
Nombre de calories . . .	570	550	437	365	248	204

On voit que, si les intensités à midi ne croissent pas avec l'élévation progressive du soleil au-dessus de l'hori-

zon, les quantités diurnes de chaleur reçues en suivent rigoureusement la marche. C'est qu'en effet le nombre d'heures de soleil et leur utilisation par le sol horizontal croissent très vite avec la hauteur du soleil et font disparaître les irrégularités de la marche annuelle des intensités. Le seul effet de l'affaiblissement de la radiation d'été est de diminuer l'écart entre la chaleur reçue par jour en été et en hiver. On ne saurait évidemment s'en plaindre, et la vapeur d'eau qui en est la cause apparaît comme un élément régulateur dont le rôle est de défendre la végétation contre les ardeurs exagérées du soleil de juillet.

On voit par là de quelle utilité serait la dissémination des canaux d'irrigation dans le midi de la France ; les plantes y trouveraient de l'eau en plus et la vapeur émise par les sol humide diminuerait les exigences de l'évaporation en atténuant dans une très large mesure les excès de la radiation d'été. C'est du reste ce qu'ont démontré les irrigations pratiquées sur plus d'un million d'hectares dans la vallée du Pô ; l'air y devient brumeux pendant les plus fortes chaleurs du mois d'août, toutes les fois que les vents secs des hauteurs ne viennent pas balayer l'air humide de la plaine.

Cette réduction de la quantité de chaleur reçue par le sol horizontal intervient non seulement dans le cours d'une journée et d'une année, mais elle se manifeste encore par le gain de chaleur essentiellement variable que reçoivent, aux diverses saisons, les régions échelonnées à diverses latitudes de l'équateur au pôle.

Divers savants ont calculé la somme de chaleur que reçoivent, dans l'espace d'un jour, les divers climats du globe en négligeant l'absorption variable que subit la radiation solaire par suite de l'inégale transparence de

l'atmosphère et en tenant compte seulement de l'obliquité des rayons de soleil.

Le tableau suivant donne cette répartition en rapportant la quantité de chaleur diurne à celle d'une journée d'équinoxe pour un lieu situé à l'équateur supposée égale à 100.

Chaleur reçue en un jour

	Latitudes					
	Equateur	20°	40°	50°	60°	Pôle
Solstice d'hiver . .	92	66	35	19	5	0
Equinoxes	100	94	77	64	50	0
Solstice d'été . . .	92	109	115	115	114	125
Moyenne de l'année	96	91	76	66	55	40

On voit que, grâce à la longue durée du jour, les régions polaires sont favorisées du soleil aux environs du solstice d'été, mais que, en moyenne, la chaleur reçue par le sol horizontal décroît de l'équateur au pôle.

Mais le soleil ne brille pas tous les jours, et *l'inscripteur solaire de Campbell*, observé depuis plusieurs années à Montpellier, montre que le déficit de l'insolation est très variable aux différents mois de l'année. Cet appareil consiste en une boule de verre exactement sphérique qui forme son foyer sur une bande de papier pliée dans une gouttière circulaire. Au fur et à mesure que le soleil se déplace dans le ciel, le foyer avance sur la bande de papier, en la brûlant sous forme d'un trait noir qui reste continu aussi longtemps que le soleil n'est pas caché par un nuage. La longueur du trait permet de déterminer le nombre d'heures d'insolation. On trouve, pour la période de 1883-1885, le rap-

port suivant entre le nombre d'heures effectives de soleil et la durée théorique de l'insolation déterminé par l'héliographe de Campbell :

Fig. 19. — Héliographe de Campbell.

Rapport de la durée de l'insolation réelle et de l'insolation théorique

	Déc.	Janv.	Fév.	Mars.	Avril.	Mai.
Insolation réelle . . .	2h97	3.84	3.67	5.90	5.60	8.05
Insolation théorique. .	9h	9.5	10.5	12	13.2	14.7
Rapport.	0.33	0.40	0.35	0.49	0.43	0.54
	Juin.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.
Insolation réelle . . .	8h30	9.80	10.8	5.80	5.52	3.70
Insolation théorique. .	15h4	15	14	12.6	11.0	9.8
Rapport.	0.54	0.65	0.77	0.47	0.50	0.38

L'enregistreur solaire de Jordan consiste en une chambre noire, cylindrique, fermée par un couvercle. Cette chambre est munie de deux trous situés de chaque côté de l'axe. A l'intérieur du cylindre se fixe une bande de papier sensibilisé au ferro-prussiate ; elle est percée de deux trous correspondant aux orifices du cylindre. L'axe de l'instrument étant situé dans le plan méridien et incliné d'après la latitude du lieu, les rayons solaires pénètrent, avant le passage au méridien, par l'ouverture Est, et, après le passage au méridien, par l'ouverture Ouest, en décrivant sur le papier roulé à l'intérieur du cylindre une course proportionnelle au déplacement apparent du soleil dans le ciel. L'intensité du trait obtenu après développement donne en même temps une indication des variations de l'intensité photochimique des rayons du soleil. Cet appareil présente sur le précédent l'avantage de donner l'indication des périodes d'insolation pendant lesquelles l'intensité calorifique du soleil est insuffisante à brûler le papier dans l'héliographe de Campbell, mais la nécessité du développement des feuilles du papier sensible impressionné complique un peu la manipulation de l'appareil.

On voit que le déficit de l'insolation porte surtout sur les mois d'hiver, et que, pendant le mois d'août, au contraire, les nuages ou la brume du matin n'enlèvent que deux heures sur dix heures de soleil. C'est là une condition très favorable à la prolongation des hautes températures de juillet, qui ne s'abaissent brusquement que lorsque les orages de fin d'été amènent, dès le mois de septembre, la suppression de plus de la moitié des heures de soleil. Si on applique aux quantités de chaleur précédemment déterminées une réduction proportionnelle au rapport exprimant le déficit de l'in-

solation pour chaque mois de l'année, on obtient les résultats suivants :

Chaleur reçue en moyenne par jour 1883-85

	Déc.	Janv.	Févr.	Mars.	Avril.	Mai.
Nombre de calories	53,5	76	82	179	220	297
Température moyenne . . .	6°6	6°	7°3	10°	14°2	17°7
	Juin.	Juil.	Août.	Sept.	Oct.	Nov.
Nombre de calories.	307	357	335	172	124	78
Température moyenne. . .	21°7	24°4	23°4	20°	15°4	9°8

Le tableau ci-dessus montre combien la température de l'air obéit servilement aux variations des quantités de chaleur cédées chaque jour de l'année. Toutefois, comme la chaleur apportée par le soleil durant l'été ne peut se dissiper brusquement, les températures élevées se maintiennent plus longtemps et décroissent moins vite que les quantités de chaleur correspondantes; il suit de là que la plus basse température de l'année n'a lieu qu'en janvier, alors que les journées où le sol reçoit le moins de chaleur sont celles de décembre.

D'une année à l'autre, la marche de la radiation solaire peut subir des variations assez étendues, ainsi que le montre le tableau suivant :

Chaleur reçue par c. q. du sol et par saison

	Hiver	Printemps	Eté	Automne
1883	8,235 cal.	25,788	32,265	18,180
1884	8,181	19,924	26,678	19,998
1885	6,030	18,051	27,630	8,635

Le total annuel de la chaleur reçue par le sol varie aussi assez largement d'une année à l'autre.

Quantités de chaleur reçues par an

Années	1883	1884	1885	1886
Calories reçues par c. q.	84.468	64.459	60.346	69.459

Années	1887	1888	1889
Calories reçues par c. q.	79.753	74.005	69 642

Le nombre de calories que chaque centimètre carré du sol de Montpellier reçoit par an est voisin de 70,000. Une telle quantité de chaleur suffirait à *évaporer*, sur toute la surface du sol de cette région, une couche d'eau de $1^{m},20$ ou à *fondre* une épaisseur de glace de 9 mètres environ. Si l'on pouvait transformer en travail la chaleur reçue sur un hectare de terrain, on pourrait obtenir, d'un bout à l'autre de l'année, un *travail* équivalent à celui de 1,250 chevaux-vapeur, en réalisant une économie journalière d'environ 90,000 kilos de charbon.

§ II. — LA LUMIÈRE DU SOLEIL

Le puissant rayonnement calorifique du soleil s'accompagne d'une quantité de lumière correspondante. L'astre émet dans toutes les directions une quantité de lumière blanche qui a été évaluée au chiffre fort respectable de

1,575,000,000,000,000,000,000,000,000 bougies.

L'intensité lumineuse ou éclat lumineux à la surface du soleil est 190.000 fois celle d'une bougie, 5.300 celle du métal incandescent d'un convertisseur Bessemer, 146

fois celle de la chaux portée au blanc éblouissant par le mélange oxhydrique, 3, 4 fois celle de l'arc électrique.

L'éclat du disque du soleil est moins grand sur ses bords que vers son centre dans le rapport de 1 à 4.

Telles sont les principales données numériques approchées que l'on possède sur la lumière émise par le soleil.

Quelle est la composition de cette lumière ? Comment peut-on la mesurer? Comment varie-t-elle dans son trajet du soleil à la terre? Quelles fluctuations subit-elle dans le cours du jour et de l'année ?

Telles sont les principales questions auxquelles nous allons essayer de répondre le plus simplement possible. Cette expression, *le plus simplement possible*, indique seulement que la tâche est quelque peu délicate et nous demandons, une fois de plus, aux agriculteurs, leur bienveillante attention.

Nous savons tous à peu près, et cela depuis notre plus tendre enfance, ce que c'est que la lumière. La lumière est ce quelque chose auquel nous devons le bonheur d'y voir clair; c'est encore ce quelque chose qui fait que les divers objets qui nous entourent ne présentent pas une teinte uniforme, mais sont colorés en bleu, en jaune, en vert ou en rouge. Enfin, tandis que toutes les parties de notre organisme sont plus ou moins impressionnées par la chaleur, notre œil est le seul juge compétent quand il s'agit de lumière.

Toutes ces notions fort simples, mais parfaitement exactes, sont aussi les points principaux que nous allons avoir à developper en étudiant la composition de la lumière du soleil.

Un rayon de lumière blanche qui nous arrive du soleil est quelque chose d'assez complexe. Indépendam-

ment, en effet, de la chaleur et de l'énergie chimique qu'il apporte avec lui, il est, en outre, constitué par une infinité de rayons lumineux que l'on peut supposer presque indépendants les uns des autres, affectant chacun notre œil pour son compte personnel, mais dont l'impression d'ensemble est précisément celle d'une lumière blanche.

Comment le vérifier? Bien simplement, et cependant il a fallu attendre Newton pour cela. Faisons tomber un rayon de lumière blanche sur un prisme de verre trans-

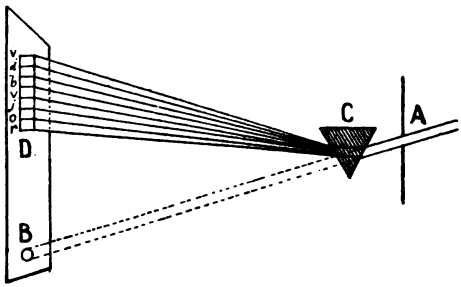


Fig. 20. — Spectre solaire formé par réfraction.

parent; le rayon dévie en pénétrant dans le cristal et chacun des rayons qui le constituent dévie inégalement; les rayons violets plus que les rouges et le faisceau de lumière blanche, étroit à son entrée dans le verre, s'étale à sa sortie en une nappe où se succèdent une innombrable série de rayons de teintes différentes, mais que l'on a rapportées à sept couleurs fondamentales qui se classent dans l'ordre suivant : *violet*, *indigo*, *bleu*, *vert*, *jaune*, *orangé*, *rouge*. Le faisceau de lumière blanche, ainsi décomposé, constitue le *spectre solaire*.

Les physiciens qui ont le désir, j'allais dire la manie,

de tout mesurer et de mettre chaque chose à sa place, lorsqu'ils étudient un phénomène physique, ne pouvaient évidemment se contenter de rapporter la foule innombrable des rayons qui constituent le spectre aux sept couleurs que tout le monde connaît. Ils sont arrivés à mesurer exactement la longueur des ondulations qui caractérisent chacun des rayons dans sa marche, et voici, en particulier, les résultats qu'ils ont obtenus pour nos sept couleurs fondamentales.

Couleurs fondamentales (teinte moyenne)	Longueur d'ondulation. — m/m
Rouge	0,000620
Orangé	0,000583
Jaune	0,000551
Vert	0,000512
Bleu	0,000475
Indigo	0,000449
Violet	0,000423

Les physiciens disposent encore d'autres repères très caractéristiques : ce sont des *raies noires* qui, dans le spectre du soleil, interrompent en différents points la succession des différentes teintes. Ces raies correspondent à la disparition de certains rayons qui ont été absorbés par les vapeurs métalliques qui constituent l'atmosphère du soleil. Détail intéressant à noter en passant et qui fait mentir l'adage : « Les loups ne se mangent pas entre eux »; ce sont les vapeurs créées par un métal qui absorbent plus spécialement les rayons lumineux que ce métal émet quand il est porté à l'incandescence. Les raies noires qui interrompent le spectre du soleil sont fort nombreuses, mais les principales

sont au nombre de huit, ce sont les raies A, B, C, D, E, F, G, H. Chacune d'elles correspond à la suppres-

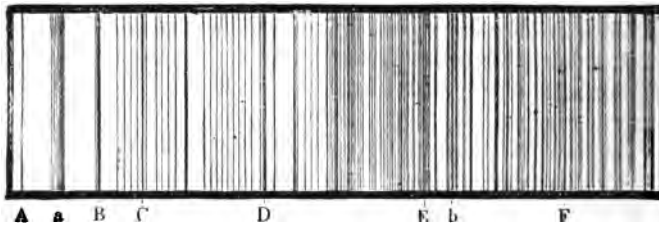


Fig. 21. — Raies noires d'absorption du spectre solaire.

sion d'un rayon d'une certaine longueur d'ondulation et d'une teinte déterminée.

Voici le tableau des longueurs d'ondulation des rayons correspondant à chacune de ces raies :

Indication des raies d'absorption	Longueur d'ondulation — m/m
A.	0,000761
B.	0,000682
C.	0,000657
D.	0,000589
E.	0,000527
F.	0,000486
G.	0,000430
H.	0,000395

Voici maintenant comment on se sert de ces diverses indications pour caractériser un rayon de lumière de teinte déterminée.

S'il s'agit d'un rayon jaune-orangé, tel que la lumière émise par une flamme d'alcool salé, on dit que l'on en-

fend parler du rayon dont la longueur d'ondulation est de $0^{mm}000589$, ou plus simplement le rayon de longueur d'onde 589; on sous-entend : *millionièmes de millimètre*. Ce même rayon sera encore dénommé exactement en disant qu'il correspond à la raie D. Les rayons jaune-verdâtres ont une longueur d'onde de 540. Les rayons rouges extrêmes de 780 environ et les rayons violets extrêmes de 390.

Si l'on veut désigner un certain groupe de rayons comprenant toutes les teintes vertes et bleues, on caractérisera cette portion du spectre en disant que ce sont les rayons compris entre les longueurs d'ondulation 520 et 440, ou bien la portion du spectre limitée entre la raie E et la raie G.

Enfin, pour parler d'un certain rayon rouge ou d'un certain rayon jaune, on dira quelquefois qu'il s'agit d'un rayon voisin de la *raie de l'hydrogène* ou voisin de la *raie du sodium*. Cette expression vient de ce que l'absorption de l'hydrogène ou du sodium détermine dans le spectre des raies noires, telles que la raie C pour l'hydrogène, la raie D pour le sodium. Ce mode de notation n'est guère employé, parce qu'en général un même métal donne naissance à plusieurs raies situées quelquefois dans des régions du spectre assez éloignées, et l'on ne pourrait savoir, en parlant de la *raie du fer*, quelle raie et quels rayons on veut indiquer.

Chacun des rayons qui constituent le faisceau de lumière blanche peut donc être clairement désigné, grâce aux travaux des physiciens. Voici encore quelques indications complémentaires à ce sujet. Les rayons violets qui dévient fortement dans le prisme sont appelés rayons *très réfrangibles*. Les rayons rouges sont

peu réfrangibles, les rayons jaunes moyennement réfrangibles.

La lumière qui nous vient du soleil, comme du reste celle que nous produisons artificiellement, se meut avec une très grande vitesse ; elle avance à raison de 300.000 kilomètres par seconde. Tous les rayons, quelle que soit leur coloration, se meuvent avec la même vitesse. Il suit de là que le nombre des ondulations qu'un rayon exécute en 1 seconde dépend de sa longueur d'ondulation.

Le nombre d'oscillations par seconde des rayons verts sera égal au quotient de 300.000 kilomètres = 300.000.000.000$^{m}/^{m}$ par $0^{m}/^{m},000512$, qui représente la longueur d'ondulation de ces rayons. Un rayon de lumière exécute donc un nombre très considérable d'ondulations par seconde et il en exécute d'autant plus que sa longueur d'ondulation est plus courte. Notre rayon vert oscille 601 trillions de fois par seconde.

Le tableau suivant donne le nombre de trillions de vibrations accomplies en 1 seconde par les divers rayons :

Nature des rayons	Nombre de vibrations par seconde.
Rouge	497 trillions
Orangé	508 —
Jaune	529 —
Vert	601 —
Bleu	648 —
Indigo	686 —
Violet	728 —

Les divers rayons du spectre se classent donc par suite en rayons à vibration rapide : rayons violets, et en rayons à vibration lente : rayons rouges.

Tout le monde sait, les dames surtout, que les diver-

ses couleurs qui teintent nos étoffes ne sont pas également voyantes, également lumineuses. Sans doute, une même couleur, le bleu par exemple, présente des degrés de luminosité fort différents; il y a le bleu pâle et le bleu foncé. Cela résulte de ce que ces teintes peuvent être plus ou moins éclaircies, c'est-à-dire mélangées de lumière blanche. Mais, d'une façon générale, les teintes jaunes sont plus lumineuses que les bleues et que les rouges. On peut donc se demander aussi si les divers rayons qui constituent la lumière blanche du soleil possèdent une égale luminosité, un même éclat. Cette détermination est assez délicate, parce que si l'œil est très habile pour comparer entre elles l'intensité de teintes de même coloration, il est au contraire très maladroit pour comparer l'éclat de deux couleurs différentes, le bleu et le rouge, par exemple. Néanmoins, cette comparaison a été faite assez exactement, et l'on trouve que l'éclat lumineux croît d'abord depuis le rouge jusqu'au jaune, puis diminue lorsqu'on se dirige vers le violet. Cette luminosité des divers rayons du spectre varie entre des limites très étendues, ainsi que le montrent les chiffres obtenus par MM. Crova et Lagarde :

Coloration	Longueur d'onde	Pouvoirs éclairants
—	—	—
—	680	0,5
—	660	1,5
—	640	4,0
Rouge moyen	620	10,2
—	600	23,0
Orangé	580	62,5
Jaune	560	98,5
—	540	30,5
Vert	520	17,2
—	500	9,2
Bleu	480	3,0

Les lumières blanches, autres que celles du soleil décomposées par le prisme, présentent une variation analogue de l'intensité lumineuse pour les divers rayons. Le maximum du pouvoir éclairant n'est pas cependant toujours réalisé pour les mêmes couleurs. La flamme d'une lampe à huile donne un spectre dont le maximum d'éclat n'est plus dans le jaune, mais entre le rouge et l'orangé.

Cette remarque montre qu'il n'est pas indifférent, dans les expériences ayant pour but de déterminer l'influence des divers rayons de lumière sur la végétation, d'extraire les rayons que l'on fait intervenir du spectre du soleil ou du spectre d'une lampe à huile, ou du spectre de l'arc électrique.

Les impressions lumineuses différentes qui résultent de la luminosité plus ou moins grande des diverses couleurs expliquent la grande variété des colorations que l'on observe dans la nature. Il n'est peut-être pas deux objets qui produisent exactement sur notre œil la même impression de couleur, parce que chacun peut renvoyer vers nous une association différente de rayons simples possédant des intensités élémentaires déterminées. On conçoit, par suite, qu'il soit assez difficile de représenter par une notation simple la couleur que les divers objets empruntent à la lumière du soleil.

On doit à M. Chevreul l'invention d'une méthode fort ingénieuse qui résout le problème pour les couleurs franches, c'est-à-dire correspondant aux nuances du spectre prismatique, et permet de classer la plupart des nuances observées dans la nature. M. Chevreul commence par diviser un cercle en trois secteurs correspondant aux trois couleurs principales : rouge, jaune et bleu ; puis il intercale les trois autres couleurs spec-

trales : l'orangé, le vert et le violet. Il place ensuite entre ces six couleurs principales les six couleurs intermédiaires, telles que le rouge-orangé, l'orangé-jaune, le jaune-vert, etc. Il obtient ainsi 12 secteurs. Il place enfin, dans l'intervalle de chacune de ces 12 couleurs, 5 couleurs équidistantes intermédiaires, soit 60 couleurs additionnelles. L'ensemble de cette division des couleurs constitue un cercle subdivisé en 72 secteurs égaux. C'est le *cercle chromatique* des couleurs franches.

Chacune de ces couleurs peut être plus ou moins mélangée de blanc. M. Chevreul subdivise chacune en 20 bandes éclaircies à 1/20, 2/20,.. 19/20 de blanc. Cette série de nuances constitue une gamme de 20 tons pour chacune des 72 couleurs franches, soit en tout 1,440 couleurs franches de luminosité différente.

Enfin, chacune de ces nuances pourra être plus ou moins assombrie, c'est-à-dire rabattue par son mélange avec des proportions variables de gris. M. Chevreul, après avoir construit 10 cercles chromatiques comportant 1,440 couleurs, les a rabattus : l'un à 1/10 de gris, l'autre à 2/10, etc. Il résulte de cette opération la formation de $10 \times 1440 = 14400$ tons différents.

Chacune des couleurs franches plus ou moins *éclaircies* ou plus ou moins *rabattues* que l'on peut observer peut donc être rapportée à un numéro d'ordre des cercles chromatiques de M. Chevreul. Ces principaux tons ont été repérés avec des écheveaux de laine teinte, puis avec des émaux inaltérables, et, confiant dans l'invariabilité des teintes créées par la nature, M. Chevreul a repéré sur ses cercles chromatiques les couleurs naturelles des principales fleurs et des principaux fruits.

La méthode de l'illustre savant a rendu des services inappréciables à l'industrie de la teinture et en particu-

lier à l'échantillonnage des laines destinées à la confection des belles tapisseries des Gobelins. Elle pourrait être mise à profit pour repérer la coloration caractéristique des diverses denrées alimentaires, et la *gamme des couleurs* a été appliquée avec succès par M. Salleron à la détermination de la coloration exacte des vins des divers vignobles de France.

La variation de l'intensité lumineuse des diverses régions du spectre solaire est encore modifiée par deux actions essentielles, résultant de la *nature du prisme* qui sert à produire le spectre.

Les divers rayons qui constituent le faisceau de lumière blanche subissent en effet une absorption suivie d'une extinction inégale par leur passage à travers le prisme. En général, ce sont les rayons les plus réfrangibles, les rayons violets, qui sont les plus diminués. Il en résulte, selon la nature du prisme, une réduction variable de l'intensité de la région extrême du spectre. Toutefois le verre laisse passer à peu près intégralement, ou au moins en proportion à peu près égale, les rayons compris entre les raies A et H. Cet intervalle correspond à peu près aux limites du spectre lumineux.

La seconde action liée à la nature du prisme résulte de ce que les diverses colorations du spectre ne sont pas uniformément étalées, c'est-à-dire que deux rayons présentant une même différence de longueur d'onde ne sont pas également espacés dans les diverses régions du spectre. On peut traduire cette action d'une manière plus expressive en disant que les rayons lumineux ne sont pas également *éparpillés* dans le spectre; les physiciens disent également *dispersés*.

En faisant réfléchir un faisceau de lumière sur un miroir métallique dont la surface est striée d'un grand

nombre de traits fins parallèles, on obtient également un spectre particulier. Ce spectre, que l'on observe à l'aide de ces miroirs appelés *réseaux*, est nommé *spectre de diffraction;* il présente cette particularité que les rayons de diverses couleurs subissent une déviation assez exactement proportionnelle à leur longueur d'onde. Les couleurs du spectre y sont donc également dispersées; on donne aussi à ce spectre le nom de *spectre normal.*

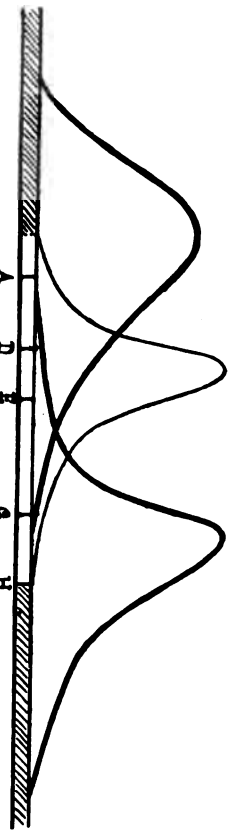


Fig. 22. — Répartition de la chaleur, de la lumière et de l'énergie chimique dans le spectre prismatique.

Si on compare le spectre d'un prisme au spectre normal d'un réseau, on trouve que, dans le spectre du prisme, les rayons rouges sont fort condensés, les rayons violets trop dilatés. Cette action varie du reste d'un prisme à l'autre en conservant son sens général.

Il suit de là que lorsque, dans le spectre prismatique, le maximum de chaleur correspond à la portion du spectre la plus contractée et tombe dans l'infra-rouge

au delà des rayons visibles, ce maximum tombe au contraire près de la raie D dans le spectre normal et se superpose presque au maximum de l'intensité lumineuse

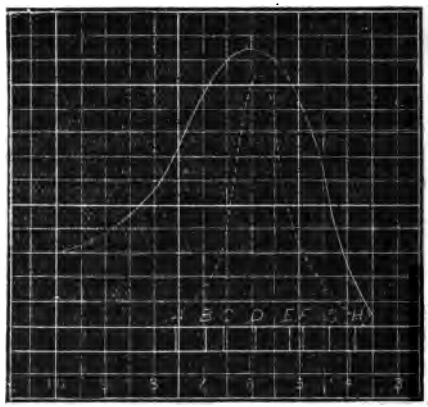


Fig. 23. — Distribution analogue de la chaleur et de la lumière dans le spectre de diffraction.

dans le même spectre. La figure 22 montre la distribution des trois sortes d'énergie : chaleur, lumière, action chimique dans le *spectre prismatique*. La figure 23 présente, au contraire, d'après les récents travaux de M. Langley, la répartition de la chaleur et de la lumière dans le *spectre normal* ou de *diffraction*. Enfin la figure 24 montre la différence considérable que présente la distribution de la chaleur dans le spectre, suivant qu'on l'étudie dans le *spectre prismatique* ou dans le *spectre de diffraction*. On conçoit facilement par suite que, si la chaleur et la lumière s'associent pour augmenter l'activité d'un phénomène déterminé de la végétation, le résultat donné par l'expérience, faite en vue d'établir

l'activité maxima de telle ou telle radiation, soit essentiellement différent suivant que l'expérimentateur aura fait usage du *spectre prismatique* ou du *spectre de diffraction*.

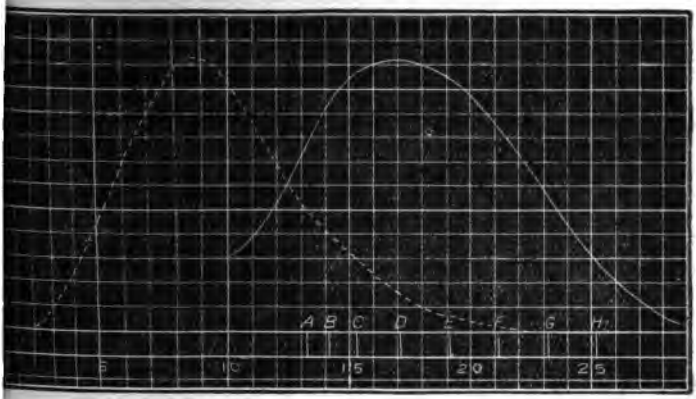


Fig. 21. — Distribution de la chaleur dans le spectre prismatique - - - - - - - - , dans le spectre de diffraction ———— .

L'action plus ou moins favorable des divers rayons peut être classée dans un ordre tout à fait différent, suivant que l'on fait agir les diverses lumières avec *l'intensité qu'elles ont dans le spectre* ou qu'on les administre aux plantes en expérience avec *une intensité lumineuse égale*. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce sujet en étudiant l'action d'un rayon de soleil sur les plantes des agriculteurs.

La mesure des actions lumineuses exercées par le soleil exige un instrument essentiel que tout le monde porte avec soi et qui est d'un usage si courant que l'on finit par se refuser à le considérer comme un instrument d'optique : il s'agit de l'*œil humain*.

Ce n'est, en réalité, qu'un instrument d'optique très parfait pour ceux qui aiment la souplesse et l'élasticité, très imparfait pour ceux qui préfèrent la rigidité de la géométrie. De même que deux microscopes du même constructeur diffèrent toujours un peu l'un de l'autre par la disposition ou le fini de leurs pièces essentielles, de même il n'y a pas deux yeux humains exactement établis sur le même modèle, et une étude approfondie de leur structure et des résultats que donne leur emploi montrerait que les différences sont parfois assez considérables. Au physique comme au moral, il est très vrai de dire que, tous, nous ne voyons pas les choses de la même manière.

Il est donc indispensable d'examiner la constitution de notre œil et le mécanisme de notre vision avant

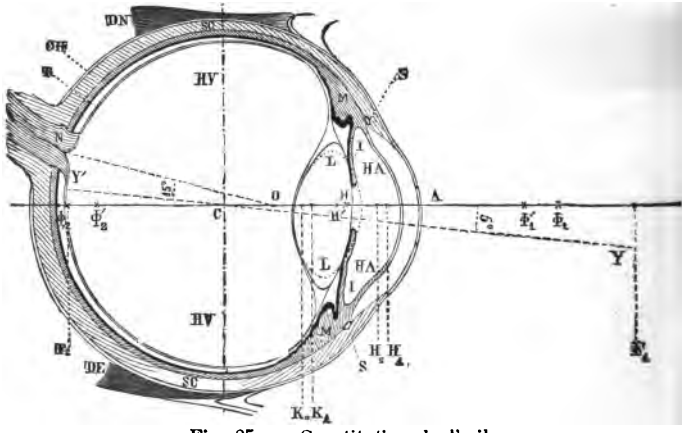


Fig. 25. — Constitution de l'œil.

d'aborder l'étude de la lumière du soleil. La figure 25 indique la construction schématique, mais cependant

assez voisine de la réalité, de notre globe oculaire. Ce globe, qui est légèrement bombé en avant, est rempli de liquides de réfrangibilités différentes, et les rayons lumineux qui le traversent complètement pénètrent d'abord une membrane extérieure: la *cornée*, limitant un liquide, l'*humeur aqueuse*, qui baigne une substance transparente plus réfringente, le *cristallin*. Ce corps, qui représente la lentille de notre instrument d'optique personnel, présente une courbure assez fortement convexe en avant aussi bien qu'en arrière. Après l'avoir traversé, le rayon lumineux pénètre dans la masse principale du globe oculaire, l'*humeur vitrée* de même réfrangibilité que l'humeur aqueuse, puis vient frapper la membrane du fond de l'œil, la *rétine*. A la surface de cette membrane s'épanouissent les terminaisons de cônes et de bâtonnets qui se continuent par un filet nerveux (nerf optique). Le nerf optique est le fil télégraphique qui avertit le cerveau de tout ce qui se passe à la surface de la rétine.

Entre l'humeur aqueuse et le cristallin se développe une membrane, l'*iris*, percée à son centre d'un orifice, la *pupille*. Cette membrane représente le diaphragme des objectifs photographiques ; elle s'élargit quand la lumière faiblit, se resserre quand elle devient trop vive, en même temps qu'elle donne de la netteté aux images lumineuses en limitant la zone active de la lentille (cristallin) à la partie centrale dont la construction est plus parfaite.

Le système optique de la portion antérieure de l'œil produit à l'intérieur de la chambre noire du globe oculaire une image petite, mais très nette, des objets extérieurs. De plus, la distance du cristallin au fond de l'œil, sa courbure et sa réfringence sont telles que

l'image se forme assez exactement sur la membrane sensible du fond de l'œil (la rétine). Un système de muscles spéciaux peut du reste actionner le cristallin, modifier sa courbure et mettre au point l'image obtenue quelle que soit la distance de l'objet à l'œil. Cette

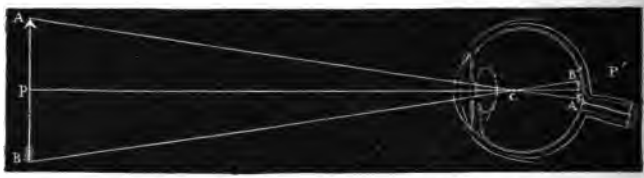


Fig. 26.— Formation d'une image dans l'œil.

propriété constitue l'*accommodation*. Toutefois, si l'objet est trop rapproché de notre œil, la complaisance du cristallin ne peut satisfaire aux exigences de la mise au point ; l'image est confuse, la limite d'accommodation est dépassée. Quand on approche rapidement l'œil d'un objet, la vision devient confuse, puis plus nette au bout d'un instant ; l'accommodation n'est pas instantanée, l'œil photographe demande quelque temps pour opérer la mise au point.

Comment l'image formée sur la rétine est-elle transmise au cerveau? Il est difficile de le préciser exactement, mais il est assez probable que l'un des stades obligatoires de cette transmission est la fabrication d'un cliché photographique. Il existe en effet, à la surface de la rétine, une substance rouge, la pourpre rétinienne, qui est décomposable par la lumière. Les clairs de l'image deviennent blancs et les parties obscures restent rouges. On a pu, en décapitant un pauvre lapin, après avoir impressionné son œil par la vue d'une fenêtre vivement éclairée, trouver sur la rétine le portrait très apparent

de la fenêtre. La décomposition de la pourpre rétinienne est donc l'analogue de la réduction des sels d'argent par la lumière dont font usage les photographes et les deux phénomènes obéissent à des lois semblables.

Pour qu'une photographie apparaisse au développement, il faut un temps de pose suffisant ; de même pour qu'une impression lumineuse soit perçue par notre œil, il faut qu'elle dure un certain temps. Ce temps est toutefois très court, surtout si la lumière est très vive. Si la lumière est faible et ne dure que très peu de temps, l'œil perçoit l'impression d'une lumière, mais ne peut en distinguer la couleur.

Lorsque deux images se succèdent sur le fond de notre œil, il faut qu'elles soient séparées par un temps appréciable pour qu'elles puissent être distinguées l'une de l'autre et que chacune d'elles ait une réalité. Il faut laisser au photographe le temps d'annuler son premier cliché et d'y substituer une plaque neuve. Chaque photographie développée au fond de notre œil persiste de 1/50 à 1/30 de seconde. Si on regarde le soleil un instant, puis quel'on ferme brusquement les yeux, on continue à voir un instant l'image de ce corps lumineux. Si l'on fait tourner un disque dont les secteurs sont peints de diverses couleurs et que l'œil les regarde successivement, la sensation perçue est le résultat de la combinaison de ces diverses nuances qui ont superposé leurs impressions dans la rétine pendant un intervalle inférieur à 1/30 de seconde.

On obtiendra *à fortiori* le même résultat si la rétine reçoit simultanément l'impression de plusieurs rayons de lumière différente. L'impression composite qui en résulte est de même que dans le cas précédent une moyenne des actions exercées individuellement par

chaque rayon. La loi du mélange des couleurs peut s'énoncer de la manière suivante : Lorsque notre œil perçoit simultanément deux rayons de réfrangibilité différente, l'impression résultante perçue est celle d'un rayon de réfrangibilité intermédiaire entre celle des deux rayons composants. Si notre œil reçoit à la fois un rayon jaune et un rayon bleu, il percevra la sensation d'un rayon vert. De même le mélange du rouge et du jaune donne l'orangé, et celui du bleu et du violet donne l'indigo.

On peut interpréter ce résultat en comparant l'action d'ensemble exercée sur notre rétine par deux rayons de réfrangibilité différente à celle qui impressionnerait notre palais si nous absorbions simultanément deux solutions, l'une à 10 o/o, l'autre à 30 o/o de sucre. L'impression sucrée ressentie serait évidemment celle d'une solution d'une teneur en sucre intermédiaire de 20 o/o ; ou bien encore, en remarquant que les rayons les plus réfrangibles sont constitués par les courtes ondulations et que les lumières peu réfrangibles sont à larges ondulations, l'effet résultant des chocs des uns et des autres doit être assez naturellement celui du choc moyen produit par les rayons à ondulations de longueur intermédiaire.

Le cercle de Newton, dans lequel un disque est divisé en secteurs successifs correspondant aux diverses nuances simples et développés proportionnellement à la quantité de lumière que chaque nuance apporte à la constitution de la lumière blanche, permet de prévoir la nuance moyenne résultant du mélange de deux teintes simples. La teinte donnée par le mélange des nuances de deux secteurs voisins est celle du secteur intermédiaire.

Ces impressions de couleurs mélangées donnent à l'atmosphère les nuances les plus variées au moment du coucher du soleil. Nous verrons, en effet, que les rayons lumineux qui ont traversé des épaisseurs d'air humide plus ou moins considérables sont tantôt rouges, tantôt jaune-orangé. Ces teintes, en se mélangeant en proportion variable avec le fond bleu du ciel, donnent à la région du ciel illuminée par le soleil couchant des nuances d'une très belle harmonie et d'une grande variété de tons.

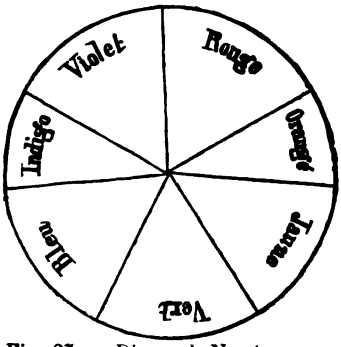


Fig. 27. — Disque de Newton pour le mélange des couleurs.

Lorsqu'on enlève à la lumière blanche une ou plusieurs lumières simples, la couleur perçue par l'œil est celle qui résulte du mélange des teintes conservées. Si l'on dépouille un rayon de soleil des rayons verts, jaunes et bleus, l'impression produite sera celle d'un mélange de rouge accompagné de violet et d'orangé. Or, si nous remarquons que, d'une part, le bleu et le jaune donnent du vert, et le violet et l'orangé du rouge, d'après le cercle de Newton, on voit, en ne tenant compte que des nuances dominantes, que la suppression du vert dans la lumière blanche donnera l'impression du rouge et l'on remarquera que dans le disque de Newton ces deux couleurs, qui sont appelées *teintes complémentaires*, sont aux extrémités d'un même diamètre. On verrait que, pour la même raison et par le même

raisonnement, le jaune est la teinte complémentaire du violet, ou bien encore que le bleu-indigo est la nuance complémentaire du jaune-orangé.

Ces impressions lumineuses produites par les teintes complémentaires se révèlent dans divers phénomènes de l'atmosphère. Le disque du soleil couchant ou levant paraît rougeâtre, parce que l'atmosphère vaporeuse a dépouillé la lumière blanche du soleil de ses rayons bleus et violets. Les plantes nous apparaissent teintées de vert, parce que la chlorophylle qui les entoure absorbe surtout les rayons rouges.

Les teintes complémentaires se manifestent encore par suite d'une singulière propriété de l'œil. S'il est vivement impressionné par une lumière rouge, par exemple, et qu'il regarde aussitôt un fond blanc, il perçoit l'impression de la teinte complémentaire, c'est-à-dire du vert. Si nous regardons successivement les colorations rougeâtres du ciel vers le soleil couchant, puis la région opposée du ciel, nous la verrons colorée en vert et les régions pourpres de la voûte céleste à une certaine distance de l'horizon se laveront d'une teinte verte et deviendront livides. Cette coloration, entièrement subjective, disparaîtra du reste au bout de quelques instants en s'affaiblissant par degrés, et, comme en même temps les colorations objectives de l'atmosphère varieront progressivement, il en résultera des admirables changements de nuances et de décors qui ont inspiré des compositions si lumineuses aux pinceaux de nos peintres et à la plume de nos littérateurs.

On explique cette manifestation d'une teinte complémentaire par la persistance des impressions lumineuses sur la rétine et par la diminution de son excitabilité

à la suite d'une fatigue. L'œil, vivement éclairé par une teinte rouge, devient incapable de percevoir le rouge dans une lumière composée comme la lumière blanche. L'impression du rouge lui manque et il perçoit celle des autres teintes pour lesquelles il est encore impressionnable, c'est-à-dire la couleur verte qui les résume et qui est la complémentaire du rouge.

Une erreur analogue dans l'appréciation des couleurs est constamment commise par certains yeux qui ne sont pas impressionnés par certaines couleurs. Quand la couleur invisible est le rouge, l'œil voit en noir la partie rouge du spectre, et dans les couleurs composées où entre le rouge, la couleur complémentaire, le vert, est la seule visible. Les personnes ainsi affectées de *daltonisme* voient un peu tout en vert, et Arago cite le cas d'une famille de plusieurs personnes pour lesquelles les cerises n'étaient jamais mûres.

Enfin notre œil peut percevoir de la lumière en l'absence de toute excitation d'origine lumineuse. La pression du globe oculaire détermine une vision lumineuse intense. Cette remarque est fort ancienne et l'on dit assez communément de quelqu'un qui a reçu un coup de poing sur l'œil qu'il a vu «trente-six chandelles». Les chocs extérieurs, en comprimant la rétine, lui donnent une sensation analogue à celle des ondulations de la lumière, et il en résulte une vision lumineuse qui n'a rien de réel !

Une autre erreur de perception lumineuse de l'œil est celle qui se manifeste dans le phénomène de l'*irradiation:* Quand un objet lumineux se projette sur un fond noir, nous lui attribuons toujours une dimension supérieure à celle d'un objet voisin, plus sombre, de même grandeur. Les corps vivement éclairés nous apparais-

sent comme environnés d'une auréole, et nous rapportons la luminosité de l'auréole à la grandeur réelle de l'objet lumineux, ce qui tend à en exagérer les dimensions. L'irradiation augmente quand le fond de projection devient plus sombre. Cette sensation d'agrandissement des objets s'accompagne assez souvent d'un raisonnement inconscient qui nous fait comparer plus exactement les dimensions de deux objets voisins. Dans un ciel bien éclairé, notre œil ne compare pas en général, avec une attention suffisante, la grandeur du disque du soleil avec la dimension des objets qui bornent l'horizon. Si la pleine lune, au contraire, vient à apparaître dans un ciel déjà assombri et développe son disque lumineux en se projetant sur le profil des montagnes qui bornent l'horizon, nous sommes invités à la trouver plus grande et à lui assigner une dimension comparable à celle des objets voisins dont nous connaissons la grandeur réelle. Cela est si vrai que, lorsque la lune se sera élevée dans le ciel quelques heures plus tard, la comparaison n'étant plus possible, nous estimerons qu'elle a sensiblement diminué. L'irradiation et la présence d'un terme de comparaison paraissent jouer un rôle essentiel dans ce phénomène bien connu des agriculteurs qui s'intéressent plus spécialement aux phases de la lune.

Notre œil peut encore, lorsque sa construction est peu soignée, déterminer des erreurs dans l'appréciation de la grandeur des objets. La cornée et les surfaces des milieux réfringents, auxquelles elle sert pour ainsi dire de moule, ne sont presque jamais exactement sphériques. Le rayon de courbure vertical est en général plus petit que le rayon de courbure horizontal. Cette conformation modifie la grandeur des images données par un même

objet dans un plan horizontal, puis dans un plan vertical. Les lignes verticales paraissent en général un peu plus longues que les lignes horizontales. Ce défaut de la vision est connu des oculistes sous le nom d'*astigmatisme*.

Chez quelques yeux, les milieux réfringents de l'œil rendent les rayons qui y pénètrent, trop vite convergents. L'image des objets se forme en avant de la rétine; la vision est confuse; elle ne devient à peu près nette que lorsque les objets sont placés très près de l'œil. Le mécanisme de l'accommodation est impuissant à réaliser une exacte mise au point; l'œil est *myope*.

Lorsque l'œil n'est pas assez convergent, l'image des objets se forme, au contraire, en arrière de la rétine. Toutefois si les objets s'éloignent, l'image se rapproche et les objets apparaissent distinctement; l'œil est *presbyte*.

L'affection de l'astigmatisme se corrige à l'aide de verres cylindriques; celle de la myopie et de la presbytie à l'aide de lentilles ou verres de lunette concaves ou convexes, qui obligent les images formées dans l'œil à tomber exactement sur la rétine.

Malgré tous ces défauts, notre œil reste un instrument d'une remarquable sensibilité, et à la condition de nous placer dans les conditions où les erreurs qu'il peut engendrer sont notablement diminuées, on peut étudier avec une grande précision les principales circonstances qui accompagnent le développement des phénomènes lumineux, si multiples et si complexes, auxquels le soleil donne naissance. Un illustre savant de notre siècle, Helmoltz, a pu dire que si un opticien lui livrait un instrument aussi défectueux que notre œil, il se croirait autorisé à le renvoyer avec les reproches les plus

sévères. Mais je crois bien qu'il n'est pas un seul de mes lecteurs, quelque imparfaits que soient ses yeux, qui s'associe à une critique aussi amère, et si quelqu'un d'entre eux éprouvait un réel plaisir à échanger son œil contre celui de son voisin, il se considèrerait certainement cependant comme très fortuné de posséder un pareil instrument d'optique. Dans l'état actuel de notre civilisation, l'œil est, de tous nos organes, celui qui nous rend les plus grands services et dont la perte nous est la plus cruelle. Il est si bon, comme le dit un vieux proverbe, «d'être au monde et d'y voir clair».

INSTRUMENTS DESTINÉS A LA MESURE DES QUANTITÉS DE LUMIÈRE.

Pour mesurer l'intensité de la lumière, on emploie en général des instruments appelés *photomètres*. Le photomètre de Foucault est le plus simple et peut-être le plus exact. Les deux moitiés d'un écran en papier blanc sont éclairées séparément par les deux sources de lumière à comparer; on fait varier la distance des deux lumières à l'écran jusqu'à ce que l'éclairement des deux moitiés soit égal. Quand cette condition est remplie, on mesure exactement les distances des deux lumières et leurs intensités sont, entre elles, comme le carré de leur distance. Si l'une des lumières est placée à un mètre et que l'autre doive être placée à 10 mètres, le rapport de leurs intensités est comme 1 est à 100.

Ce procédé, très simple, n'est que difficilement applicable à la lumière du soleil, à cause de son extrême intensité. Il faudrait, pour obtenir un éclairement égal, concentrer la lumière de la lampe prise comme terme

de comparaison et l'approcher presque jusqu'au contact de la feuille de papier pour que l'inégalité de la distance compense la différence des intensités. M. Crova a proposé de tourner la difficulté en réduisant dans un rapport connu la lumière du soleil en la diffusant à l'aide d'un verre dépoli.

Mais une autre difficulté se présente dans l'application de la méthode. Les teintes blanches des lumières que l'on compare, celle du soleil et celle de la lampe, ne

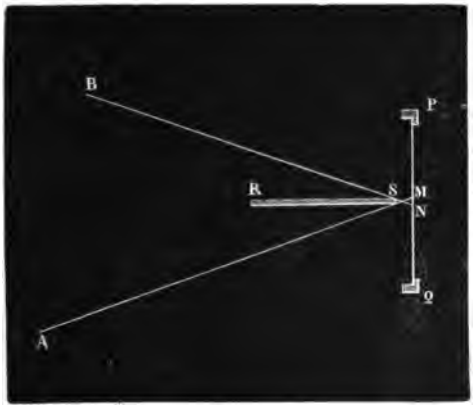


Fig. 28. — Photomètre de Foucault.

sont pas de même nuance. La lumière du soleil est d'un blanc pur; celle de la lampe est jaunâtre et l'œil est peu expert, nous l'avons vu, à comparer des lumières dissemblables.

Pour apprécier exactement l'éclat de la lumière du soleil, on est amené à employer le procédé suivant: on décompose séparément la lumière du soleil et celle de la lampe à l'aide d'un prisme, on obtient ainsi deux

spectres que l'on peut placer côte à côte, de telle sorte que les rayons de même couleur se correspondent, les verts avec les verts, les rouges avec les rouges. Il suffit alors de comparer, couleur par couleur, les intensités des deux spectres pour trouver dans quelle proportion la lumière étalée dans celui du soleil dépasse celle que contient le spectre de la lampe de comparaison.

La comparaison de deux couleurs dans chaque spectre se fait en général en affaiblissant l'une des lumières dans un rapport connu et jusqu'à l'égalité. L'appareil prend en général le nom de *spectro-photomètre.*

Cétte méthode est appliquée depuis deux ans à des observations journalières poursuivies à l'Ecole d'agriculture de Montpellier, sur la composition de la lumière bleue du ciel, à l'aide du spectro-photomètre de M. Crova.

Les photomètres permettent non seulement d'évaluer la lumière du soleil en la comparant à celle d'une lampe, mais encore de déterminer son intensité en unités parfaitement définies.

L'unité de lumière le plus généralement adoptée est le carcel. C'est la lumière fournie par une lampe à huile de colza épurée, ayant une mèche de 2 centim. de diamètre et brûlant 42 gr. d'huile à l'heure. M. Violle a proposé de prendre comme unité la lumière émise par 1 centim. carré d'un bain de platine incandescent. Cette nouvelle unité vaut environ 2 carcels. Quelques physiciens prennent encore pour unité la bougie. Une bougie vaut 1/7 à 1/10 de carcel.

Les spectro-photomètres donnent des résultats précis et fort intéressants, mais sont d'une manipulation délicate et nous ne les proposerions pas à l'agriculteur désireux de se rendre compte par lui-même des

variations que subit la lumière qui agit sur ses récoltes. A côté des instruments de précision, il existe toujours des appareils plus simples et donnant des résultats d'une précision suffisante pour la pratique. Il faut avouer cependant que la mesure de la lumière est assez mal partagée sous ce rapport.

L'instrument le plus pratique paraît être jusqu'à ce jour l'*actinomètre à thermomètres conjugués* essayé par Herschell et Arago et étudié plus spécialement par M. Marié Davy. Il consiste essentiellement en deux thermomètres à mercure, à réservoir sphérique, enfermés au centre de deux ballons de verre où l'on a fait le vide. La surface du réservoir de l'un des thermomètres est brillante, la surface de l'autre est noircie. On expose d'une façon continue l'instrument au soleil, et à un moment donné on lit la différence de température accusée par les deux thermomètres. Cette différence est proportionnelle à l'éclairement. Rien de plus simple que la manipulation de l'appareil ; mais voyons un peu ce qu'il mesure.

Un rayon de soleil tombe à la surface de l'enveloppe extérieure de verre ; il y subit une extinction marquée. Les rayons calorifiques obscurs sont arrêtés en partie ; les rayons lumineux continuent leur route et arrivent sur le thermomètre. Le thermomètre brillant les réfléchit sans les absorber ; le thermomètre noirci les absorbe presque en totalité. Il en résulte une élévation fort inégale de température qui correspond à la quantité de rayons lumineux absorbés.

En réalité, en supposant même que le triage des rayons lumineux et des rayons obscurs calorifiques par l'enveloppe du ballon soit parfait, l'actinomètre Arago-Davy n'indiquerait pas exactement les variations de l'inten-

sité lumineuse. L'intensité lumineuse d'un rayon composé n'est pas, en effet, proportionnelle à la chaleur qu'il apporte en se détruisant. Les rayons jaunes, plus lumineux, sont moins chauds que les rayons rouges. La proportionnalité de la chaleur à la lumière n'existe que dans un même rayon. Ainsi, un rayon rouge deux fois plus chaud est aussi deux fois plus lumineux, mais ce n'est que dans l'hypothèse, fausse, où la proportion des divers rayons constitutifs de la lumière blanche resterait constante, que les indications de l'appareil seraient à peu près proportionnelles aux quantités de lumière. En fait, il indique surtout les variations de l'énergie calorifique apportée par les rayons lumineux. Or, nous verrons que c'est la variation de cette énergie qui intéresse le plus efficacement la végétation.

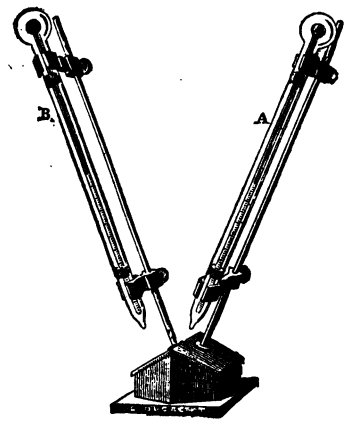


Fig. 29. — Actinomètre Arago-Davy.

L'actinomètre Arago-Davy est donc, malgré ses imperfections, un de ceux qui donnent les indications les plus utiles à l'agriculteur, au point de vue de la lumière.

Les résultats obtenus à l'aide de cet appareil sont assez bien représentés par la formule $t - t' = Ap^e$ semblable à celle qui régit la transmission de la chaleur au travers de l'atmosphère.

$t - t'$ est la différence des deux thermomètres ; A, la différence qu'ils présenteraient aux limites de l'atmosphère. Cette différence a été évaluée à 17° pour un air, dont la transparence était P = 0,875; l'exposant e représente l'épaisseur évaluée en épaisseurs atmosphériques.

On désigne par *degré actinométrique* la valeur que prendrait la différence observée $t - t'$, si A était égal à 100. On obtiendra le degré actinométrique correspondant à une différence observée $t - t'$ en multipliant cette différence par $\frac{100}{A} = \frac{100}{17} = 5{,}88$.

La valeur de A déterminée pour chaque appareil varie un peu, mais il est toujours possible, par une comparaison avec un actinomètre-étalon de l'observatoire de Montsouris, de déterminer le facteur de conversion $\frac{100}{A}$, qui varie de 5,50 à 7,00.

La valeur observée des différences $t - t'$ de température des deux thermomètres peut varier de 0° à 14°9, tandis que les degrés actinométriques varient entre les mêmes limites de 0° à 87°5, lorsque l'épaisseur de l'atmosphère est voisine de l'unité.

MM. Richard ont, à l'aide d'une disposition mécanique fort ingénieuse, créé un *actinomètre enregistreur* qui inscrit les indications des thermomètres conjugués Arago-Davy. Le réservoir sphérique de chaque thermomètre extérieur, protégé par son enveloppe de verre, communique avec un réservoir thermométrique métallique également plein d'alcool. La forme courbe de ce réservoir détermine, comme dans le manomètre de Bourdon, le redressement de son extrémité libre, quand l'alcool, chassé du réservoir sphérique par l'élévation de la température, augmente la pression intérieure du

système. La déviation transmise au style inscripteur par la dilatation propre du liquide du manomètre est exac-

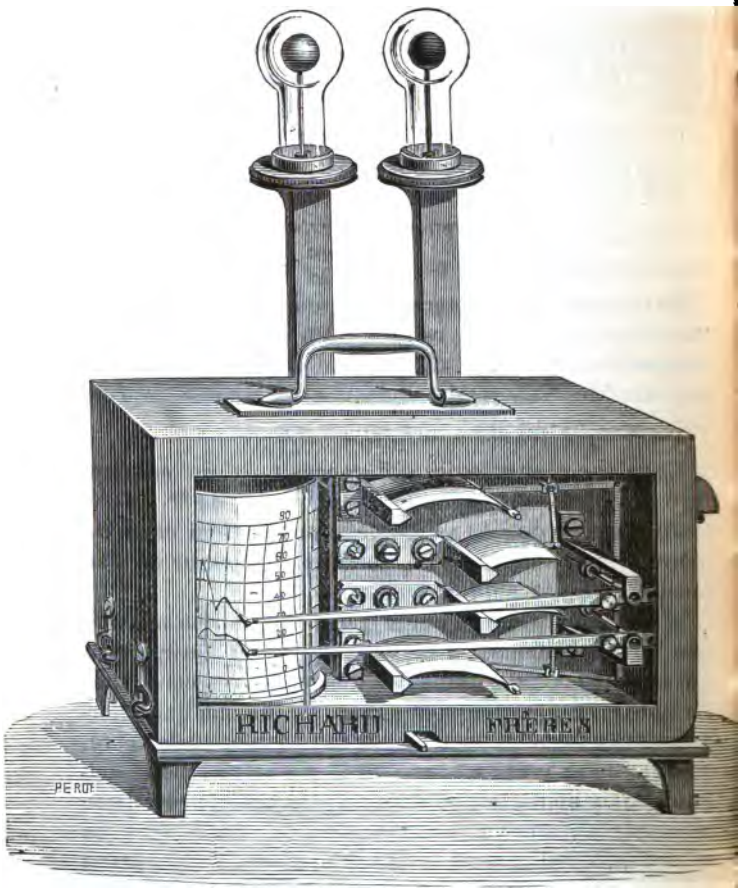


Fig. 30. — Actinomètre enregistreur Richard.

tement annulée par le jeu d'un tube thermo-manométrique semblable qui déplace le point d'oscillation du levier, chargé de la transmission du mouvement. L'inscription continue des températures des thermomètres noir et brillant permet de trouver facilement, à un moment quelconque, la valeur du degré actinométrique.

DISTRIBUTION DIURNE ET ANNUELLE DE LA LUMIÈRE

L'intensité de la lumière que nous envoie le soleil est essentiellement variable dans l'intervalle d'une journée : ce sont les phases bien marquées que présentent ses variations qui ont fait distinguer quatre périodes dans l'intervalle de 24 heures : le crépuscule du matin, le jour, le crépuscule du soir, la nuit.

Le *crépuscule* du matin correspond à la période pendant laquelle le soleil, bien qu'au-dessous de l'horizon, ne s'en éloigne pas au delà de 18°. A l'équateur, il suffit de 1 heure 12 minutes pour que le soleil ait accompli ce trajet, au delà duquel ses rayons cessent de se réfléchir vers nous à la surface de l'atmosphère qu'ils illuminent. Mais quand la course diurne du soleil devient de plus en plus oblique sur l'horizon, la durée du crépuscule s'accroît. Il arrive même, dès la latitude de Paris, que pour une certaine époque de l'année (solstice d'été), le soleil ne descend pas à plus de 17°42' au-dessous de l'horizon. Le crépuscule dure toute la nuit. De là vient aussi que, dans les régions polaires, la nuit, qui dure plusieurs mois, soit constamment éclairée par un lumineux crépuscule.

Le crépuscule du matin est plus spécialement dési-

gné sous le nom d'*aurore;* celui du soir, sous celui de *brune.*

Le jour correspond à l'intervalle qui sépare le lever du soleil de son coucher.

Le *crépuscule* du soir correspond au crépuscule du matin et reproduit en sens inverse les variations de l'intensité lumineuse. La nuit s'étend entre les deux crépuscules; la lumière du soleil est alors réduite à la faible portion réfléchie par le disque de la lune, lorsque cet astre est au-dessus de l'horizon et dirige vers nous sa face éclairée. Le surplus de la lumière, qui est très faible, est fourni par les étoiles.

Ce sont évidemment les variations de l'intensité lumineuse pendant la période du jour proprement dit qui intéressent le plus directement l'agriculteur. La variation de la lumière que nous envoie le soleil tient à deux causes distinctes : 1° la variation de l'épaisseur atmosphérique traversée ; 2° la variation de la composition de l'atmosphère qui entraîne une absorption différente.

L'atmosphère, nous l'avons vu, absorbe énergiquement les rayons calorifiques du soleil, au point que sur 3 calories versées aux limites de l'atmosphère, il n'en arrive guère que 1 à 1 et 1/2 jusqu'à la surface du sol. L'absorption de la lumière par l'atmosphère transparente paraît être beaucoup plus faible. Cette absorption existe néanmoins et devient très sensible lorsqu'à la composition normale de l'atmosphère s'ajoute la vapeur d'eau à l'état de fines vésicules. Cette absorption, qui affecte inégalement les divers rayons constitutifs de la lumière blanche, se traduit par des changements de coloration de cette lumière. Les rayons les plus réfrangibles, les bleus, sont surtout absorbés, et la lumière blanche,

dépouillée de ces rayons, tourne progressivement vers le rouge.

De là vient que le disque du soleil levant et couchant nous paraît rouge sous le voile de brume qui en atténue l'éclat, et fort souvent matin et soir «de feux empourprés l'horizon se colore» dans la région du ciel où l'astre se lève ou se couche : c'est l'aurore «aux doigts de rose» célébrée par Homère ; c'est le crépuscule de feu qui accompagne les couchers de soleils aux tons chauds des régions méridionales. Cette même coloration rougeâtre affecte également l'orbe de la lune à son lever ; le phénomène est surtout sensible au moment de la pleine lune et l'on dit communément que la lune *jette son feu*.

Cette absorption des radiations de faible longueur d'onde trouve son explication en ce qui concerne l'extinction produite par les fines vésicules de vapeur d'eau dans un phénomène d'optique qui consiste en ce que les ondulations courtes ne peuvent contourner ou franchir les obstacles d'une dimension comparable à elles-mêmes, tandis que les ondulations longues des rayons rouges se tirent aisément d'embarras dans les mêmes conditions.

Ainsi que le fait remarquer Tyndall, un large rocher réfléchit les vagues de l'Atlantique aussi facilement que la ride soulevée par l'aile d'un oiseau de mer; mais un petit caillou placé sur le chemin des petites rides circulaires produites à la surface d'un étang tranquille par la chute d'une simple goutte d'eau renverra en arrière une grande fraction de chacune des rides qui le rencontrent. La fraction d'une grande vague renvoyée par le petit caillou peut n'être qu'infiniment petite. Les grandes ondulations de la lumière rouge peuvent ainsi franchir les

fines gouttelettes liquides qu'elles rencontrent sans être altérées sensiblement dans leur intensité et dans leur direction, tandis que les courtes ondulations du bleu et du violet peuvent être fortement arrêtées ou déviées dans les mêmes conditions.

Les ondulations bleues qui restent ainsi en route dans les hautes régions de l'atmosphère ne sont que partiellement détruites comme lumière, elles continuent leur route en se dirigeant dans toutes les directions et déterminent la teinte bleue du ciel.

La *lumière bleue du ciel* paraît donc résulter du mélange de la lumière blanche du soleil diffusée dans toutes les directions associée à un excès de rayons bleus qui déterminent sa coloration. Son analyse au spectro-photomètre montre que ce n'est pas une lumière simple, mais qu'elle diffère de la lumière blanche d'une lampe à huile par la prédominance des rayons bleus et violets.

Des déterminations faites par M. Crova et par l'auteur au sommet du Ventoux ont montré que si l'on amenait à l'égalité l'intensité des rayons moyens jaune-verdâtres correspondant à la longueur d'onde 565 dans la lumière bleue du ciel et dans celle du carcel, le rapport des intensités lumineuses dans le violet (longueur d'onde 486) devenait égal à 2,92, tandis qu'il s'abaissait à 0,24 dans le rouge pour une longueur d'onde 635.

La lumière blanche du soleil est caractérisée par les rapports correspondants 1,93 et 0,53 ; elle est plus riche en rayons bleus que celle de la lampe, mais moins bien pourvue de ces rayons que celle du ciel bleu.

La teinte bleue du ciel varie aux différentes heures de la journée. Elle est le plus bleu possible vers 9 heures du matin, puis elle pâlit de plus en plus jusque vers 2 heures du soir, en se lavant de lumière blanche. Enfin,

entre 3 heures et le coucher du soleil, elle bleuit de nouveau, sans toutefois atteindre un ton aussi bleu que dans la matinée.

Le tableau suivant donne à moins de 2 heures d'intervalle le rapport des intensités des divers rayons constitutifs de la lumière du ciel et de celle d'une lampe carcel, en faisant ce rapport égal à l'unité pour une longueur d'onde de 565.

		Teinte rouge $\lambda = 635$	Teinte jaune $\lambda = 565$	Teinte bleue. $\lambda = 486$
3 septembre	9^h40^m	0,24	1,00	2,92
—	11^h17^m	0,33	1,00	2,54

Les mêmes observations faites à l'aide du spectrophotomètre montrent que la teinte bleue du ciel décroît légèrement quand l'altitude diminue.

La lumière bleue diffusée par le ciel est partiellement *polarisée*, c'est-à-dire que les vibrations ondulatoires qui la constituent tendent à s'exécuter dans un plan unique et non plus dans toutes les directions, comme la lumière naturelle. Cette modification est déterminée par les réflexions que la lumière subit à la surface des légers nuages qui voilent les hautes régions de l'atmosphère : la lumière naturelle se polarise en se réfléchissant à la surface d'un miroir. La polarisation de la lumière est maxima dans un plan vertical et à 90° du soleil. On détermine l'intensité de la polarisation de la lumière du ciel à l'aide des *polarimètres*. Le polarimètre de M. Cornu est l'un des plus commodes pour opérer cette détermination.

La polarisation, très forte au lever du soleil, diminue et atteint un minimum vers le milieu de la journée, puis augmente de manière à atteindre au coucher un

second maximum moins élevé que celui du lever. Le degré de polarisation paraît dépendre de la pureté du ciel et de la transparence calorifique de l'atmosphère. L'observation de la polarisation peut fournir, par suite, bien que mettant en œuvre un des phénomènes les plus délicats de l'optique, des indications pratiques sur la transparence de l'atmosphère (1).

Les variations de l'intensité de la lumière bleue diffusée par le ciel affectent la végétation d'une façon peut-être aussi intense que la lumière directe du soleil. La lumière directe du soleil, en effet, n'agit que sur les feuilles de la plante qui y sont directement exposées; la lumière diffusée par le ciel, au contraire, agit sur tous les organes aériens, qui sont comme baignés de toute part dans cette lumière. Lorsqu'un nuage passe devant le soleil, la lumière directe de l'astre est interceptée, mais la lumière diffuse continue à arriver presque en égale proportion de tous les points du ciel. Elle augmente même alors partiellement de ce que le rayonnement direct a perdu. Enfin, c'est cette lumière diffuse qui prolonge l'effet utile du soleil, avant et après son lever, pendant la période du crépuscule. Les observations spectro-photométriques ont montré que la lumière diffusée par un ciel couvert était de même nature que celle du ciel bleu.

L'actinomètre Arago-Davy totalise, en quelque sorte, l'action calorifique exercée par les radiations lumineuses, soit qu'elles émanent de la lumiere solaire directe, soit de la lumière bleue du ciel. Les observations pour-

(1) Crova et Houdaille. Observations faites au sommet du Ventoux sur la radiation solaire. Annales de chimie et de physique, 6me série, t. XXI, 1890.

suivies à l'observatoire de Montsouris ont donné, pour la marche annuelle de la lumière que mesure l'appareil, les résultats suivants :

	Degrés actinométriques (1872-76).	
Décembre	9°,4	Hiver 12°,5
Janvier	13°,0	
Février	15°,3	
Mars	26°,0	Printemps 36°,6
Avril	37°,5	
Mai	46°,2	
Juin	48°,2	Été 46°,6
Juillet	50°,7	
Août	41°,1	
Septembre	31°,8	Automne 21°,4
Octobre	20°,1	
Novembre	12°,4	
Moyenne annuelle =	29°,3.	

La quantité de lumière mesurée par l'actinomètre Arago-Davy a varié entre des limites assez étendues pour une même période dans les diverses années. Le tableau suivant donne les résultats obtenus pour deux périodes qui intéressent l'une la végétation, l'autre la maturation du blé en France.

	Somme des degrés actinométriques	
Années	De mars à juin.	De juin à septembre.
1873	4.499	5.406
1874	5.031	5.412
1875	4.824	4.995
1876	4.880	5.177

Les quantités de lumière ainsi mesurées correspondent à celles qui sont reçues par une surface sphérique

exposée au rayonnement solaire direct et à celui de la lumière diffuse. La quantité de lumière réellement reçue par un sol horizontal ou par une nappe horizontale de végétation en diffère assez fortement. Elle s'en rapproche en ce qui concerne la lumière diffuse qui se distribue un peu sur la plante comme sur le réservoir sphérique du thermomètre noirci; mais elle s'en éloigne beaucoup pour la lumière directe du soleil. La quantité de cette lumière reçue par la surface d'un champ à végétation serrée obéit sensiblement à la réduction de l'intensité signalée à propos de l'évaluation des radiations calorifiques reçues par un sol horizontal.

La détermination du régime annuel de l'intensité lumineuse que nous distribue généreusement le soleil présente de réelles difficultés et demande de nouveaux instruments et de nouvelles méthodes, que les physiciens ne sauraient plus longtemps refuser aux agriculteurs.

On a tenté également de substituer à la mesure des quantités de lumière versées à la surface du sol l'estimation de la luminosité de l'atmosphère déduite de deux procédés différents. L'un d'eux consiste à mesurer la *transparence optique* de l'atmosphère; l'autre à évaluer la *portion du ciel libre de nuages*.

La transparence de l'atmosphère dans une direction parallèle à celle du sol est sujette à de grandes variations. Elle paraît paradoxalement augmenter quand la quantité de vapeur d'eau s'accroît dans l'atmosphère. Le profil des Alpes vues à une certaine distance se détache avec une admirable netteté à l'approche de la pluie. De même après une averse de l'été, l'atmosphère paraît gagner beaucoup en limpidité. Ce dernier résultat peut être attribué soit à l'influence de la vapeur

d'eau, soit à l'entraînement des poussières atmosphériques par la pluie.

Enfin le trouble de l'atmosphère qui précède les temps d'orage s'explique par la formation de nappes d'air de réfringence variable dues à l'élévation anormale de la température. Les rayons émis par les objets sont ainsi réfractés irrégulièrement dans leur trajet jusqu'à l'œil de l'observateur et donnent des images vagues et imparfaites.

On a essayé de mesurer cette transparence par divers procédés. L'*héliosco*pe de Gauss consiste en un miroir supporté par une lunette qui peut diriger un faisceau de soleil en un point éloigné observé par la lunette. L'éclairement ainsi produit peut atteindre des distances très considérables quand le temps est clair et se réduit beaucoup quand l'atmosphère est moins pure. On peut encore éloigner progressivement d'une lunette une mire noire portant deux traits blancs rapprochés et déterminer à quelle distance les deux traits cessent d'être distincts.

M. le colonel Mangin, dans une étude entreprise pour des recherches de télégraphie optique, estime que la transparence de l'air voisin du sol pour 1 kilomètre d'épaisseur est comprise entre 0,98 et 0,99, mais plus voisine de 0,99. Un temps légèrement brumeux réduit au contraire cette transparence, par kilomètre, à 0,93. Avec une transparence de 0,97, les communications optiques peuvent encore être échangées, entre l'île Maurice et la Réunion, à la distance de 276 kilomètres.

La second procédé, qui permet une évaluation approchée de la luminosité de l'atmosphère, consiste dans l'estimation de la fraction du ciel libre de nuages. Cette estimation se fait à vue d'œil par l'observation directe

ou bien en examinant sur un globe de verre argenté le panorama du ciel. Lorsque les 4/10 du ciel sont couverts de nuages, on dit que la *nébulosité du ciel* est de 4. Une nébulosité 10 correspond à un ciel entièrement couvert et la nébulosité 0 à un ciel entièrement pur. Cette notation est couramment usitée dans les observations météorologiques, et avec quelque habitude on arrive rapidement à une estimation assez approchée de la nébulosité.

Le tableau ci-dessous donne la marche mensuelle de la nébulosité observée par ce procédé approximatif pendant l'année 1890 à Montpellier, en mettant en regard le rapport entre la durée réelle et la durée théorique de l'insolation donné par l'héliographe de Campbell, rapport qui dépend aussi de la fraction du ciel découverte.

	Nébulosité à midi.	Rapport d'insolation.
	—	—
Janvier	4,1	0,47
Février	4,8	0,44
Mars	3,8	0,55
Avril	4,9	0,48
Mai	5,0	0,41
Juin	2,4	0,59
Juillet	3,1	0,61
Août	4,2	0,59
Septembre	4,8	0,57
Octobre	3,1	0,62
Novembre	4,5	0,49
Décembre	5,9	0,26

La nébulosité varie, comme on devait s'y attendre, en sens inverse du rapport diurne de l'insolation réelle à l'insolation théorique.

La lumière du soleil, en se réfractant dans les particules d'eau liquides ou solides en suspension dans l'atmosphère, détermine divers phénomènes lumineux qui ont de tout temps attiré l'attention des agriculteurs, d'autant plus que certains d'entre eux peuvent donner des indications utiles sur le temps du lendemain.

Le phénomène de l'*arc-en-ciel* et de ses brillantes couleurs est déterminé par la réfraction et la réflexion que subissent dans une goutte de pluie les rayons du soleil. Lorsque, tournant le dos au soleil, nous dirigeons nos regards vers le rideau de perles mobiles constitué par la chute des gouttes de pluie, chaque goutte, pendant sa chute, se trouve convenablement placée pour renvoyer vers nous, après l'avoir réfracté et transformé en spectre, un petit rayon de soleil. Ces spectres colorés, qui nous viennent ainsi de la région opposée au soleil, arrivent à notre œil un peu de toutes les directions ; ils devraient donc superposer leurs couleurs et le phénomène des colorations distinctes devrait s'annuler.

Mais il existe une direction spéciale pour laquelle le plus grand nombre de ces spectres colorés se superpose assez exactement. Cette direction est celle des rayons de soleil qui, réfléchis sur le fond de la gouttelette liquide, sont renvoyés dans la direction de notre œil en faisant au point de rebroussement un angle de 42°30. Par raison de symétrie, les gouttelettes d'eau qui satisfont à cette condition sont distribuées sur un cercle que découperait dans le rideau de pluie un cône de 85° d'ouverture, dont le sommet serait dans l'œil de l'observateur. Une partie de ce cercle est au-dessous de l'horizon et la partie visible au-dessus affecte la forme d'un arc plus ou moins développé résultant de la distri-

bution circulaire d'une série de petits spectres colorés. Le rouge colore l'extérieur de l'arc, le violet l'intérieur, et, entre ces deux teintes extrêmes, s'échelonnent les diverses couleurs du spectre partiellement superposées; il en résulte une écharpe lumineuse brillamment teintée des couleurs de l'arc-en-ciel.

Les rayons de lumière qui arrivent du soleil peuvent aussi subir deux réflexions dans l'intérieur de chaque gouttelette liquide et s'en échapper en s'entre-croisant, le rayon d'aller avec le rayon de retour. Ces deux rayons forment pour les directions qui donnent le plus grand éclairement un angle de 50° environ et déterminent un second arc-en-ciel qui se développe à l'extérieur du premier et lui est concentrique. Ce deuxième arc-en-ciel est plus pâle que le premier, à cause du chemin compliqué qu'a suivi la lumière pour se réfléchir deux fois dans la goutte d'eau; il n'est pas toujours visible. Les couleurs y sont distribuées dans un ordre inverse : le violet à l'extérieur, le rouge à l'intérieur. La largeur de l'écharpe lumineuse qu'il développe à 8° de distance du premier est aussi deux fois plus large et atteint 3°25.

L'arc-en-ciel principal devient tangent à l'horizon par son bord supérieur dès que la hauteur du soleil est supérieure à 42°30. De là vient qu'en été l'arc-en-ciel se produit surtout le matin ou le soir, mais jamais à midi, dans les régions où la hauteur de l'astre est supérieure à 42°30 à cette heure de la journée; il est le plus développé possible au lever et au coucher du soleil.

L'arc-en-ciel du soir est considéré en général comme un présage de beau temps. Il indique, en effet, que le ciel est complètement libre de nuages du côté de l'Ouest et que le dernier rideau de pluie est à l'Est de l'observateur. Dans une grande partie de la France, les bour-

rasques pluvieuses viennent de l'Ouest et, quand le défilé de nuages venant de l'Ouest a cessé, on peut espérer le beau temps. L'arc-en-ciel paraît aussitôt pour nous en donner l'assurance.

On voit assez souvent autour du soleil, et surtout de la lune, des auréoles qui entourent ces astres à une faible distance (*couronnes*), ou s'en éloignent davantage sous forme de grands cercles lumineux (*halos*). Ces apparences sont produites par les modifications que subit la lumière, soit en se réfractant sur les prismes de glace qui encombrent les hautes régions de l'atmosphère, soit en se diffractant au travers des étroits interstices que laissent entre elles les vésicules de vapeur d'eau. Ce dernier phénomène détermine les couronnes qui accompagnent fréquemment la lune brillant dans une atmosphère en apparence sereine pendant la nuit et qui font dire que la *lune boit*.

Si les gouttelettes sont petites, le diamètre de la couronne est plus grand ; si elles sont plus grosses, la couronne se resserre et se rapproche de l'astre en prenant plus d'intensité. Or, la pluie se produit sitôt que les gouttelettes d'eau ont acquis un diamètre suffisant pour ne plus leur permettre de rester en suspension dans l'atmosphère sous forme de nuages. On peut donc prévoir la pluie lorsque la *lune boit* et que le diamètre de son auréole va en se rétrécissant progressivement.

Enfin les *aurores boréales*, ces draperies flottantes jetées dans le ciel des nuits polaires comme pour remplacer la lumière du soleil, apparaissent quelquefois dans nos régions, et le phénomène, pour être plus rare, sollicite encore davantage notre curiosité. Bien que l'on ne soit pas absolument fixé sur le mécanisme de ces illuminations, on sait qu'elles sont en relation très directe

avec les phénomènes magnétiques que le soleil induit à la surface de notre globe. L'aiguille aimantée s'agite avec énergie pendant la durée du phénomène et nous avons signalé la liaison mystérieuse, mais intime, des déviations de l'aiguille aimantée avec les taches ou tourbillons du soleil.

§ III. — L'ÉNERGIE CHIMIQUE DU SOLEIL

L'énergie calorifique d'un rayon de soleil disparaît en élevant la température du corps qui l'absorbe; l'énergie lumineuse qui affecte notre œil se transforme, elle aussi, en chaleur obscure avec élévation de température du milieu qui la reçoit ; l'énergie chimique réalise en tombant sur diverses substances des combinaisons ou des décompositions. Le mouvement qu'apporte avec lui un rayon chimique disparaît en produisant une quantité de travail équivalente, correspondant à la peine que prend le rayon pour séparer deux corps qui étaient unis ou pour réunir deux éléments qui étaient séparés.

Les rayons calorifiques et lumineux reçus à la surface du sol subissent une simple transformation ; leurs ondulations deviennent plus lentes, la chaleur obscure apparaît et, après un certain temps d'arrêt représentant son voyage dans l'air et dans le sol, elle se dissipe peu à peu en vibrant dans les espaces célestes.

Les rayons chimiques, au contraire, disparaissent comme vibrations et il ne reste de leur chute à la surface du sol, lorsqu'ils peuvent se dépenser utilement, que de nouveaux composés chimiques formés par leur intervention. Le principe général « rien ne se perd, rien

ne se crée» est toutefois sauvegardé, parce que l'édifice chimique que le rayon a élevé par sa mort régénèrera, en se détruisant, une quantité de chaleur équivalente qui pourra à son tour aller se perdre dans l'espace.

Tel est le rôle général de ce que les physiciens ont appelé les *radiations chimiques* du soleil. Ces rayons chimiques, de même que les rayons lumineux, n'ont pas une existence entièrement autonome: ils sont, quelques-uns du moins, associés à de la lumière et à de la chaleur qui ne cessent de les accompagner et dont il est très difficile de les séparer. Ils apparaissent dès le rouge du spectre, mais se développent surtout dans le bleu et le violet et même au delà du violet. Au delà du spectre, il existe, en effet, une région invisible à l'œil, à moins que l'on emploie un de ces artifices particuliers dont les physiciens ont le secret: on l'a appelée la région des rayons ultra-violets. Cette région invisible reçoit des radiations chimiques fort énergiques.

MM. Bunsen Roscoë ont déterminé, en mesurant l'activité variable de la combinaison réalisée par ces rayons entre le chlore et l'hydrogène, l'intensité des radiations chimiques aux divers points du spectre.

Répartition de l'intensité des radiations chimiques dans le spectre.

Orangé	. . . . .	0,5
Jaune-vert	. . . . .	1,5
Bleu	. . . . .	28
Indigo	. . . . .	55
Violet	. . . . .	60
Ultra-violet	. . . . .	55
	. . . . .	40
	. . . . .	20

Les actions chimiques développées par ces rayons peuvent se ranger en deux catégories : 1° les *oxydations* qui fixent l'oxygène sur les diverses substances oxydables et en particulier sur les matières organiques ; 2° les *réductions* qui enlèvent l'oxygène ou fixent l'hydrogène. M. Chastaing a montré que les rayons chimiques de la première partie du spectre, du côté du rouge, étaient plus propres à effectuer les oxydations ; tandis que les rayons plus réfrangibles vers le violet réalisaient plus généralement des réductions. La limite des deux actions tomberait entre la raie D et la raie E.

Le travail des rayons chimiques qui opèrent des réductions est considérablement facilité quand la substance qu'ils modifient est accompagnée d'une autre substance oxydable. Cette dernière prend pour son compte l'oxygène que le rayon chimique a enlevé à la substance voisine. Il arrive ainsi que très souvent les réductions opérées par les rayons très réfrangibles s'accompagnent d'oxydations simultanées. Les photographes n'ont pas manqué de tirer profit de cette remarque et, pour faciliter la réduction de la couche sensible des sels d'argent, ils leur associent un corps oxydable, tel qu'un sel de protoxyde de fer.

On distingue encore en deux classes les réactions chimiques opérées par les rayons du soleil ; les unes sont dites *endothermiques*, elles absorbent de la chaleur en s'opérant ; les autres sont appelées *exothermiques*, elles dégagent de la chaleur. Les premières paraissent essentiellement propres à mesurer l'activité des radiations chimiques, puisque, une fois commencées, elles ne pourront se continuer si on cesse de leur fournir de la chaleur. Les secondes, et M. Berthelot range dans cette catégorie la combinaison du chlore et de

l'hydrogène, la réduction des sels d'or, d'argent, de fer, utilisés en photographie, ne semblent pas devoir mesurer exactement l'intensité des rayons chimiques. Dans ce groupe de réactions, la lumière détermine le phénomène chimique, mais ce n'est pas elle, fait remarquer M. Berthelot, qui effectue le travail principal, c'est-à-dire qui fournit la chaleur mise en jeu; la lumière, en un mot, joue le rôle d'une allumette qui servirait à incendier un bûcher.

Il est vrai toutefois que si l'allumette est petite et que si le bûcher n'est pas sec, il ne suffira pas d'une allumette pour le détruire, et le nombre d'allumettes que l'on aura brûlées pour arriver au résultat sera en rapport avec le travail accompli. A la condition de ménager l'action de la lumière, l'activité des radiations chimiques pourra être mesurée par la combinaison du chlore à l'hydrogène ou par la réduction d'un sel d'argent.

Les rayons chimiques sont partiellement absorbés par diverses substances transparentes, par le verre en particulier. Le spectre obtenu avec un prisme de verre est moins riche en radiations chimiques que celui obtenu à l'aide d'un réseau. Ce sont surtout les rayons violets et ultra-violets qui sont affectés par cette absorption. L'extinction de ces rayons par l'eau ou par le quartz est beaucoup plus faible et, pour réaliser un spectre chimique, il convient d'employer un prisme de quartz.

Enfin, si les rayons les plus réfrangibles sont, en général, ceux qui produisent les actions chimiques les plus énergiques, les rayons moins réfrangibles peuvent être plus aptes qu'eux à produire certaines réactions spéciales et dans certaines conditions. M. Vogel a découvert qu'il suffisait de mêler au bromure d'argent cer-

taines matières colorantes, qui absorbent fortement les rayons rouges, pour communiquer à ceux-ci une grande activité et leur permettre de réduire aussi énergiquement les sels d'argent que les rayons violets. Cette remarque est fort importante à noter, car elle explique comment il se fait que l'un des phénomènes de réduction qui intéresse le plus directement la vie de nos plantes, la réduction de l'acide carbonique par la lumière du soleil, soit dû plus spécialement à l'action des rayons rouges que la matière verte des plantes absorbe avec le plus d'énergie.

Actinomètre chimique de Bunsen et Roscoë.— Un petit flacon de verre de 60cc de capacité environ est rempli à moitié d'eau et à moitié d'un mélange à volumes égaux de chlore et d'hydrogène. L'ouverture du flacon, dit insolateur, est reliée par un tube vide à une boule remplie d'eau. Sous l'action de la lumière, le chlore s'unit à l'hydrogène et l'acide chlorhydrique formé se dissout dans l'eau du flacon en même temps que le volume gazeux diminue. La réduction du volume gazeux dans l'unité de temps sert de mesure à l'intensité des radiations chimiques et s'apprécie par la quantité dont l'eau avance dans le tube qui met en communication l'insolateur et la boule d'approvisionnement.

L'unité de lumière adoptée pour la mesure de l'activité chimique, à l'aide de cet appareil, a été appelée par les auteurs le mètre photochimique. C'est la quantité d'énergie chimique que produirait 1 mètre de gaz chlorhydrique par minute, en pénétrant dans une couche illimitée de chlore et d'hydrogène.

MM. Bunsen et Roscoë ont aussi pris comme unité la quantité de gaz chlorhydrique produit par minute dans l'insolateur par une flamme type d'oxyde de car-

bone placée à 1 mètre de distance. Les quantités de gaz chlorhydrique formé se sont montrées proportionnelles à la quantité de gaz oxyde de carbone consommé par la flamme. L'appareil qui a conduit à des résultats fort intéressants est d'une manipulation délicate qui ne lui permet pas d'entrer dans le domaine des observations courantes.

Balance photométrique à base d'iodure d'azote de M. Lion.— M. Lion a récemment utilisé la décomposition de l'iodure d'azote (1) par la lumière pour la construction d'un photomètre. L'appareil se compose essentiellement de deux capacités métalliques closes, égales et juxtaposées, dont le fond est constitué par des glaces. On y verse successivement des quantités égales de poudre d'iode et d'ammoniaque, en laissant subsister au-dessus des liquides deux chambres à gaz de même volume. La réaction de l'iode sur l'ammoniaque donne au fond du vase, en 3 ou 4 minutes, deux minces couches d'iodure d'azote. Deux miroirs orientés vers chacune des sources à comparer, lampe-étalon et lumière diffuse de l'atmosphère par exemple, réfléchissent ces lumières sur le fond de chaque récipient. L'énergie chimique variable produit un dégagement proportionnel d'azote et la pression augmente dans chaque chambre à air. Un manomètre différentiel réunit ces deux capacités et la différence de niveau n'y reste constante que si les intensités chimiques sont égales. On éloigne donc ou l'on rapproche la lampe-étalon jusqu'à ce que l'invariabilité du niveau manométrique ait été obtenue. La distance de la lampe au miroir fait connaître l'intensité chimique de la source à comparer.

(1) L'emploi de ce corps avait déjà été proposé par M. Guyard.

Cet appareil pourrait être avantageusement employé pour la mesure de la lumière diffuse de l'atmosphère, si l'iodure d'azote n'était un explosif d'un maniement dangereux et surtout si la décomposition de ce corps obéissait à l'énergie calorifique des rayons lumineux en même temps qu'à l'énergie chimique qu'il évalue plus spécialement.

Actinomètre aux sels d'argent. — MM. Bunsen et Roscoë ont créé un autre actinomètre plus pratique, qui mesure l'intensité de la radiation chimique par la teinte plus ou moins foncée que prend une bande de papier sensibilisée à l'azotate d'argent.

La bande de papier est exposée sous une fente recouverte par un écran mobile, qui se retire peu à peu. L'intervalle de la fente présente alors une série de teintes de moins en moins foncées, correspondant à des durées d'exposition parfaitement connues. Il existe toujours, entre les deux teintes extrêmes, une teinte intermédiaire, dont l'intensité est égale à celle d'une teinte type prise comme terme de comparaison, et si l'on admet que la teinte type soit, pour l'unité de radiation chimique, obtenue dans une seconde, il suffira de diviser l'unité par le nombre de secondes qui correspondent à la formation de la teinte type dans l'expérience pour avoir la valeur de l'énergie chimique en unités conventionnelles de radiation. La teinte type adoptée par les auteurs était celle qui résulte du mélange de 1 partie de noir de fumée à 1.000 parties de blanc de zinc.

MM. Bunsen et Roscoë ont construit un actinomètre enregistreur qui, toutes les heures, expose automatiquement une nouvelle portion d'une bande de papier sensible aux rayons du soleil pendant des intervalles

de temps croissants de 2 secondes à 30 secondes. Quand le temps est humide, l'appareil est abrité sous une cage de verre et ses indications sont corrigées de la perte de lumière qui en résulte à l'aide de comparaisons préalables. Dans l'appareil de M. Roscoë, la cage de verre faisait perdre près de la moitié de la lumière qui devait agir sur le papier sensible.

M. Craveri a imaginé un enregistreur actinométrique continu, qui donne, avec l'indication du nombre d'heures de soleil, une appréciation de l'énergie actinique de la radiation reçue sur un sol horizontal. L'appareil consiste en une boîte renfermant un mouvement d'horlogerie, qui fait mouvoir un cercle vertical de 60 centimètres de circonférence. Sur le pourtour de ce cercle, on enroule une bande de papier sensible au ferrocyanure de potassium, et un petit orifice circulaire est percé dans le couvercle supérieur de la boîte. Le cercle étant tangent à cet orifice, la lumière qui impressionne la bande à chaque instant est proportionnelle à l'effet photochimique de la radiation envoyée soit directement par le soleil, soit rayonnée de tous les points de la voûte céleste. Une échelle de teintes permet d'apprécier l'intensité photochimique développée à chaque instant de la journée.

Actinomètre chimique de M. Marchand. — L'appareil de M. Marchand se compose d'un flacon plat en verre blanc pouvant contenir 100^{cc} environ. Il est recouvert d'une épaisse couche de vernis noir. Mais, à peu de distance du fond, on a laissé sur l'une des faces larges une ouverture circulaire dans le vernis par où pénètre la lumière qui doit agir sur le liquide sensible.

On introduit dans le flacon :

10cc de perchlorure de fer liquide à 24° B. saturé d'acide carbonique.

20cc d'une solution d'acide oxalique saturée d'acide carbonique.

70cc d'eau gazeuse (solution saturée d'acide carbonique).

La solution d'acide oxalique contient 50 grammes d'acide oxalique par litre.

Sous l'action des radiations chimiques qui pénètrent dans le flacon, le perchlorure de fer se réduit en protochlorure, de l'acide chlorhydrique devient libre, et l'acide oxalique se transforme en acide carbonique, qui se dégage et que l'on mesure dans une cloche graduée remplie de glycérine. La réaction marche d'une façon régulière tant qu'il ne s'est pas dégagé plus de 260cc de gaz; les 20cc de liqueur acide peuvent donner jusqu'à 340cc d'acide carbonique.

Les indications données par cet instrument sont de même ordre que celles mesurées par l'appareil à chlore ou à hydrogène de MM. Bunsen et Roscoë. Voici, en effet, les résultats fournis par l'observation de l'appareil dans les différentes régions du spectre.

Nature des couleurs	Effet chimique produit.
Rouge	3
Orangé	6
Jaune	43
Vert	134
Bleu	308
Indigo	370
Violet	107
Ultra-violet	18
	7
	1

Le maximum d'effet correspond aux rayons indigo. L'actinomètre Bunsen et Roscoë donnait son maximum dans le violet. Cette légère variation dans l'effet chimique, mesurée à l'aide de ces deux actinomètres, entraîne des conclusions un peu différentes dans la discussion des résultats obtenus pour la marche diurne et annuelle de l'illumination chimique.

Les rayons chimiques que nous envoie le soleil subissent une absorption assez considérable de la part de l'atmosphère; nous avons vu, en effet, que parmi les divers rayons lumineux du soleil, les rayons bleus et violets étaient surtout interceptés par l'atmosphère et, en particulier, par la vapeur d'eau condensée, sous forme de légers nuages. Ces rayons, toutefois, de même que ceux de l'ultra-violet, ne sont pas entièrement détruits, ils sont partiellement diffusés dans l'atmosphère et sont rayonnés vers le sol de tous les points du ciel.

Il suit de là que le rayonnement chimique de la voûte céleste est comparable en intensité à celui des rayons du soleil. D'après les expériences de MM. Roscoë et Bunsen, l'illumination chimique d'une surface horizontale du sol due à la lumière diffuse du ciel peut égaler celle que produit le soleil. L'égalité aurait lieu pour un soleil élevé de 31° au-dessus de l'horizon. M. Marchand a montré, de son côté, que, aux environs du solstice d'été, à Fécamp, lorsque l'effet total de la radiation sur le sol horizontal dégage 35cc d'acide carbonique, la part du soleil est de 23cc et celle de la lumière diffuse 12cc.

Un léger rideau de nuages peut quadrupler l'action de la lumière chimique du ciel qui se réduit quand l'atmosphère devient plus transparente pour ces rayons. Les

nuées d'orage et les épais brouillards absorbent au contraire une grande partie de l'activité chimique du ciel.

La marche de l'illumination chimique dans le cours d'une journée est déterminée essentiellement par ces deux actions contraires, savoir: 1° que le rayonnement chimique s'atténue avec l'épaisseur atmosphérique traversée; 2° que ce même rayonnement augmente quand la transparence du ciel est légèrement voilée par les nuages de vapeur d'eau. La marche diurne du phénomène est donc un peu variable avec les climats et les saisons. Néanmoins, comme le voile atmosphérique se forme assez uniformément dans le voisinage de midi en toute saison et sous tous les climats, la marche diurne de la radiation chimique est assez constante.

MM. Bunsen et Roscoë ont trouvé que l'éclairement chimique de la lumière émanant du zénith et l'intensité chimique du soleil variaient de la manière suivante, quand le soleil s'abaissait vers l'horizon et que la distance zénithale de cet astre croissait progressivement.

	Intensité chimique	
Distance zénithale	Lumière diffuse du zénith	Soleil
20°	38,14	131
30°	38,29	122
40°	37,72	108
50°	35,75	87
60°	31,70	60
70°	25,05	28
80°	15,43	3
90°	2,78	»

L'activité chimique de la lumière diffuse semble passer par un maximum un peu avant que le soleil ait atteint

sa plus grande hauteur au-dessus de l'horizon. Les photographes ont depuis longtemps remarqué que les plus belles épreuves photographiques sont obtenues dans les premières heures de la journée, vers 9 heures du matin.

L'actinomètre de M. Marchand indique pour la marche de la lumière totale du jour (lumière diffuse et soleil) une progression continue avec l'élévation du soleil au-dessus de l'horizon.

Effet chimique de la lumière du jour.

Hauteur du soleil	Surface de réception horizontale	Surface de réception perpendiculaire
10°	9,9	14,1
20°	21,2	28,6
30°	34,0	43,6
40°	48,3	58,8
50°	64,0	74,6
60°	81,2	90,7
70°	99,8	107,2
80°	119,9	124,2
90°	141,5	141,5

La variation considérable de la hauteur atteinte par le soleil sous nos latitudes, aux différentes époques de l'année, détermine des moyennes mensuelles très inégales de l'activité des rayons chimiques. Une série de quatre années d'observations (1869-72) poursuivie à Fécamp, par M. Marchand, donne la marche suivante :

Moyenne de l'action chimique diurne.

Janvier. . .	1,84	Juillet . . .	21,41
Février. . .	3,93	Août. . . .	18,92
Mars. . . .	6,44	Septembre .	13,05
Avril. . . .	14,10	Octobre . .	6,85
Mai.	19,46	Novembre .	2,89
Juin	21,04	Décembre .	1,80

Le maximum de l'activité du rayonnement chimique du soleil aurait lieu en juillet et se superposerait, à cette époque de l'année, avec le maximum de l'énergie calorifique et lumineuse reçue par le sol horizontal.

L'énergie chimique versée sur le sol présente au reste, comme l'activité calorifique et lumineuse, des variations très sensibles d'une année à l'autre.

Telles sont les diverses formes de l'énergie que le soleil nous envoie sans cesse et dont les variations à la surface du sol ne modifient en rien le flux régulier qui s'échappe de l'astre central. Ces diverses énergies représentent une dépense de mouvement considérable et l'on peut se demander pourquoi il en reste toujours dans le soleil. Depuis des milliers d'années, depuis des millions d'années peut-être, le soleil éclaire l'espace, et des dimensions relativement étroites de son disque se sont échappées des provisions énormes d'énergie.

> De ce jour poursuivant ta carrière enflammée,
> Tu décris sans repos ta route accoutumée.
> L'éclat de tes rayons ne s'est pas affaibli,
> Et sous la main des temps ton front n'a point pâli.
>
> LAMARTINE (*Hymne au Soleil*).

«Comment se fait-il, dit encore un poète, dans un langage imagé et très expressif, que le *soleil sonne encore aujourd'hui comme il sonnait autrefois ?*»

Les physiciens et les astronomes ont invoqué diverses hypothèses pour rendre compte de l'entretien de la chaleur du soleil. La première idée qui se présente à l'esprit est d'assimiler le soleil à un globe de *combustible* brûlant avec une grande activité. Mais on trouve que si le soleil était fait de charbon massif brûlant dans l'oxygène pur, il ne pourrait durer qu'environ 6000 ans.

Il aurait été consumé presque au tiers depuis le commencement de l'ère chrétienne.

Il est difficile, en outre, de justifier par une simple combustion la température très élevée que paraît présenter le disque du soleil. Il est vrai que les astronomes ne sont pas très bien fixés à ce sujet. Secchi a autrefois soutenu qu'il existait une température de 10.000.000°, puis a diminué son estimation à 140.000°. Zollner indique 28.000° à 55.000°. Pouillet et M. Violle la réduisent à 2.500°.

Mais l'incertitude de la température du soleil, qui est certainement très élevée, ne change en rien l'estimation de la dépense de combustible nécessaire pour entretenir le rayonnement que mesurent les actinomètres.

La deuxième hypothèse invoquée est la *théorie météorique*. Un corps pesant 8.338 kilos, tombant sur le Soleil de la distance où sont les planètes, possèderait à son arrivée une vitesse évidemment très considérable et son choc ne développerait pas moins de 2.000.000 de calories, c'est-à-dire suffirait à porter à l'ébullition 20 mèt. cubes d'eau primitivement à 0°. Si la Terre tombait sur le Soleil, elle produirait une quantité de chaleur capable d'entretenir le rayonnement de cet astre pendant 95 ans. La planète Jupiter, qui est beaucoup plus grosse, suffirait pour 32,000 ans. La chute d'une quantité de matière égale seulement à la 100^{me} partie de la masse de la Terre suffirait à conserver indéfiniment le rayonnement du soleil, si elle se répétait chaque année. Une pluie de 21 mètres de poussières météoriques à la surface du soleil conduirait au même résultat. La chute des météores est un fait acquis, mais il n'est pas possible d'affirmer si elle est aussi abondante que le voudrait la théorie.

La troisième hypothèse est celle de la *contraction lente du soleil.* Un gaz qui se contracte dégage de la chaleur, et un corps qui se contracte par suite d'un refroidissement met simultanément en liberté une quantité de chaleur capable d'empêcher son abaissement de température. Lane a montré que la température d'un corps gazeux peut s'élever continuellement, tandis qu'il se contracte par suite d'une perte de chaleur. La contraction utile du soleil porterait surtout sur la chromosphère. M. Helmholtz, qui a, le premier, proposé cette hypothèse en 1853, a montré que, dans les conditions les plus défavorables, une contraction du diamètre de 1853 mètres, en 21 ans, expliquerait l'émission totale de la chaleur annuelle. La mesure de cette contraction ne serait sensible à nos instruments d'optique qu'au bout de plusieurs milliers d'années, et si l'entretien de la chaleur du soleil a été due tout entière depuis son origine à ce phénomène de contraction, la vie de notre soleil serait voisine de 30 millions d'années. L'humanité, depuis son berceau, n'a guère vu luire que quelques milliers d'années : il y a encore de beaux jours pour l'agriculteur et l'agriculture.

Depuis que l'homme est homme et que les ans funèbres
D'Abel et de Caïn ont fait le sol sanglant,
Il n'a pas, dans l'espace avare ou moins brûlant,
Mis la digue au torrent épars de ses lumières ;
Tous les peuples éteints l'ont eu dans leurs paupières.
Il peut, sur les débris séculaires des temps,
Jusqu'au chaos dernier éveiller les printemps.
Il attire vers lui les astres et les âmes,
Et l'infini demeure ébloui de ses flammes.

G. BOUTELLEAU *(Les Cimes).*

BIBLIOGRAPHIE

A. Crova. — Sur l'enregistrement de l'intensité calorifique de la radiation solaire. Annales de chimie et de physique, 5e série.

— Sur l'analyse de la lumière diffusée par le ciel. — Annales de chimie et de physique, 6e série, t. XX, 1890.

Radau. — Actinométrie.

— La lumière et les climats.

— Les radiations chimiques du soleil.

Annuaire de l'observatoire de Montsouris.

Lévy, trad. E. Maillot. — L'actinomètre Arago-Davy. — Contribution à l'étude de la maturation des raisins. — Annales agronomiques, N° 16.

A. Crova et **Lagarde.** — Détermination du pouvoir éclairant des radiations simples. — Journal de physique, 2e série, t. I, 1882.

A. Crova. — Comparaison des lumières de teintes différentes. — Annales de chimie et de physique, 6e série, t. VI, 1885.

A. Crova et **Houdaille.** — Observations faites au sommet du mont Ventoux sur l'intensité calorifique de la radiation solaire. — Annales de chimie et de physique, 6e série, t. XXI, 1890.

Jamin et **Bouty.** — Cours de physique de l'Ecole polytechnique, 3e fascicule. — Etude des radiations : optique, physique.

Tyndall. — La chaleur, considérée comme cause de mouvement.

Kaemtz. — Cours complet de météorologie : optique atmosphérique, p. 369.

Tyndall. — La lumière. Six leçons faites en Amérique dans l'hiver 1872-1873. (Traduction de l'abbé Moigno.)

E. Becquerel. — La lumière, ses causes et ses effets.

Beaunis. — Nouveaux éléments de physiologie humaine.

CHAPITRE III

COMMENT LES PLANTES ET LES ANIMAUX VIVENT D'UN RAYON DE SOLEIL

La plupart des plantes et des animaux se développent au soleil; il y a certainement une raison à cela, et cette raison se laisse trouver facilement. *Les radiations du soleil* interviennent, en effet, de bien des manières dans le développement des unes et des autres. Leur action sur la plante est directe; elle est le plus souvent indirecte sur l'animal qui a la liberté de s'y soustraire. Mais nous verrons, chemin faisant, que la plante et l'animal, si différents au premier abord, ont bien des points communs au point de vue des bénéfices qu'ils peuvent retirer du soleil. La plante étant la plus directement intéressée, nous l'examinerons la première avec quelques détails, pour analyser le plus exactement possible ce qu'elle doit au soleil.

LE SOLEIL ET LES PLANTES

Les végétaux que nous cultivons reçoivent du soleil les trois formes d'énergie que nous avons appelées la *chaleur*, la *lumière* et les *radiations chimiques*, et chacune de ces formes intervient très probablement pour exercer une action spéciale sur leur développement. Toutefois, on comprendra facilement que lorsqu'un rayon de couleur verte tombe sur les feuilles d'une plante, il soit assez difficile de distinguer si les réactions délicates qu'il y détermine sont dues soit à l'impression lumineuse spéciale que la matière vivante en reçoit, soit à la chaleur qui l'accompagne, soit à l'ébranlement chimique développé par le même rayon. Ces actions superposées sont assez difficiles à démêler et on simplifie, en général, le problème de la manière suivante.

On examine séparément sur la plante l'action des radiations calorifiques invisibles et celle des radiations lumineuses visibles. On détermine, en outre, quelles sont parmi les radiations lumineuses celles qui exercent l'action la plus intense sur un phénomène déterminé de la vie de la plante. Si cet examen indique que la plus grande activité est imprimée par les rayons jaunes qui sont en même temps les plus lumineux, on peut soupçonner que l'action lumineuse est prépondérante. Si, au contraire, les rayons les plus actifs sont les rayons violets ou ultra-violets qui sont peu lumineux, peu calorifiques, mais possèdent une grande énergie chimique, on est amené à conclure que le phénomène observé relève plus directement de ces phéno-

mènes d'ébranlement moléculaire qui sont spécialement liés aux rayons les plus réfrangibles.

La vie d'une plante peut se décomposer en trois périodes. Dans la première, sa croissance est rapide : la plante grandit ; dans la seconde, son développement se ralentit, mais les principes qu'elle a accumulés dans la première période s'élaborent : la plante mûrit ; dans la troisième, le développement a cessé, les principes élaborés subissent diverses migrations dans les tissus, quelquefois des altérations : c'est la décrépitude, puis la mort.

Pendant chacune de ces phases, la plante réalise un échange incessant avec le milieu dans lequel elle est plongée. A l'air, elle emprunte de l'*acide carbonique ;* elle lui rend de l'*oxygène*. Au sol, elle prend de l'*eau*, qu'elle cède en partie à l'air sous forme de *vapeur d'eau*. Les racines puisent dans le sol de l'eau et des *sels* qu'elles cèdent à ses parties aériennes, et les feuilles élaborent des *hydrates de carbone* qu'elles partagent avec les racines.

A toutes ces phases de la vie de la plante, à tous ces échanges intérieurs et extérieurs qui s'opèrent en elle ou par elle, préside quelque chose, tantôt visible, tantôt invisible, mais toujours actif et bienfaisant, et ce quelque chose, vous l'avez déjà nommé, c'est le rayon de soleil.

Influence des radiations calorifiques obscures. — Ces radiations, que l'on désigne quelquefois sous le nom de chaleur obscure, exercent sur le développement de la plante une action moins directe et moins intense que les autres radiations du spectre. Elles contribuent plus spécialement à maintenir la plante à une température,

c'est-à-dire à un niveau calorifique déterminé. Elles pénètrent, au reste, dans le végétal, par deux procédés différents, tantôt par voie de conductibilité, tantôt par voie de rayonnement.

Nous examinerons les résultats du premier procédé quand nous nous préoccuperons de la température de l'air ; mais nous pouvons indiquer, dès maintenant, que si la plante peut se développer à des températures bien différentes, il existe néanmoins une certaine température pour laquelle les diverses fonctions qu'elle accomplit s'exécutent le mieux possible, c'est la *température optima*. La plupart de nos plantes commencent à vivre utilement à partir de 10° et à vivre pour le mieux vers 25°. La communication de chaleur obscure par conductibilité contribue donc à l'établissement d'un régime qui est d'autant plus utile à la plante que sa température approche davantage de la température optima.

La communication de chaleur obscure par voie de rayonnement peut agir directement sur l'activité des diverses fonctions du végétal; mais, plus ordinairement, l'intervention des radiations peu réfrangibles se borne à élever légèrement la température de la plante et à la rapprocher de la température optima, nécessaire à un complet et rapide développement.

Influence des radiations plus réfrangibles.—Les autres radiations comprises dans le spectre, à partir du rouge jusqu'à l'ultra-violet, ont une action plus spéciale sur la croissance du végétal. Chacune d'elles, suivant sa réfrangibilité, agit en général avec une intensité bien différente sur les diverses fonctions de la plante. Les unes interviennent d'une manière plus intense pour entraver la croissance ; les autres sont plus aptes à réaliser

le phénomène essentiel de la nutrition; les autres, enfin, président plus activement à la transpiration de la vapeur d'eau.

La croissance d'une plante est en quelque sorte indépendante de l'activité de sa nutrition, si par nutrition on entend l'absorption des matériaux utiles autres que l'eau. Une plante maintenue à l'obscurité se nourrit mal et, par contre, elle se développe très rapidement. Tous les agriculteurs savent en effet avec quelle rapidité les tubercules de la pomme de terre conservés dans une cave émettent leurs tiges anémiques et décolorées. Le tubercule fournit de l'eau et avec elle un petit nombre de principes utiles; moyennant cette faible contribution, l'édifice s'élève avec une grande activité. Mais c'est un édifice sans solidité, incapable de se supporter lui-même et dont les matériaux sont à peu près inutilisables. Il ne faudra donc pas en vouloir au soleil si nous déclarons que le premier service qu'il rende à l'agriculteur est d'empêcher ses plantes de pousser.

Mais comment faire pour voir pousser une plante et pour s'assurer si un rayon de soleil est réellement favorable ou défavorable à sa croissance? Les botanistes qui s'occupent de la physiologie des plantes ont imaginé divers appareils fort ingénieux pour suivre avec la plus grande facilité la marche du développement des tiges végétales. Le plus simple de ces procédés consiste à attacher un léger fil de soie à l'extrémité de la tige de la plante et à relier ce fil à une petite poulie très mobile portant une longue aiguille qui se déplace sur un cadran gradué. Le moindre accroissement de la tige est accusé par une forte déviation de l'aiguille et l'on peut ainsi, en quelque sorte, voir pousser une plante.

Or, si l'on fait tomber sur la jeune tige d'une plante

ainsi disposée un faisceau de soleil, on voit aussitôt sa *vitesse de croissance* diminuer. Aussitôt n'est cependant pas parfaitement exact, car les actions exercées par les rayons de soleil ne sont pas en général instantanées et, le plus souvent, l'effet qu'ils déterminent n'apparaît que quelque temps après qu'ils ont commencé à agir. Il semble ou bien que la plante se recueille avant de prendre une détermination, ou bien, ce qui est probablement plus vrai, qu'un travail préparatoire soit accompli avant que le changement de régime puisse se produire.

L'effet produit par la substitution de la lumière à l'obscurité peut réduire la vitesse de croissance de moitié. On peut se demander si tous les rayons qui constituent la lumière blanche sont également actifs pour provoquer ce ralentissement de la croissance et s'il n'existerait pas certains rayons dont l'influence serait telle que l'on puisse, en les faisant intervenir à l'exclusion des autres, retarder encore davantage le développement d'un végétal.

Pour obtenir ce renseignement on peut employer deux procédés que nous pourrons consulter chaque fois que nous aurons à définir l'action spéciale des divers rayons sur les fonctions de la plante. Le premier procédé est celui des *écrans colorés*. On interpose, entre la plante et le faisceau de lumière blanche, une cuve de verre à faces parallèles que l'on remplit de diverses solutions suivant que l'on veut laisser passer telle ou telle radiation.

Une dissolution concentrée d'iode dans le sulfure de carbone supprime tous les rayons lumineux et chimiques et ne laisse passer que les rayons calorifiques infra-rouges.

Une couche d'eau suffisamment épaisse ou une solu-

tion d'alun arrête, au contraire, tous les rayons calorifiques infra-rouges et laisse passer tous les rayons lumineux.

Une dissolution en proportion convenable de permanganate et de bichromate de potasse laisse passer les seuls rayons rouges.

Une solution de bichromate de potasse laisse passer seulement les rayons rouges, jaunes et verts.

Une dissolution ammoniacale de sulfate de cuivre laisse passer les rayons extrêmes du vert, le bleu, le violet et l'ultra-violet.

En superposant les deux dernières dissolutions convenablement concentrées, on ne laisse passer que les rayons verts.

Mais il est bien évident que, suivant les concentrations de ces diverses dissolutions, on peut laisser passer des quantités très différentes d'une même lumière simple. On cherche donc à diluer les solutions jusqu'à ce que l'intensité lumineuse des rayons transmis soit la même pour chacune d'elles, et comme il est difficile de comparer directement l'éclat lumineux des lumières de teinte différente, on emploie en général un procédé approximatif qui consiste à comparer l'intensité des ombres portées par les diverses dissolutions. Quand ces ombres ont une même intensité, on juge que leur transparence est la même. La lumière absorbée étant la même pour les deux faisceaux primitivement égaux, on estime que les quantités de lumière conservées sont égales.

Le second procédé consiste à produire un spectre avec *un prisme* et à exposer dans les différentes régions les parties de la plante sur lesquelles on veut expérimenter. Il conviendrait de tenir compte dans cette expérience de l'intensité lumineuse inégale des diverses

régions du spectre, ainsi que de la dispersion inégale des divers rayons. On effectue quelquefois cette dernière correction en comparant la dispersion du spectre du prisme à la dispersion normale du spectre d'un réseau, mais on ne se préoccupe pas de l'intensité lumineuse inégale des diverses régions du spectre. Ainsi, si l'on observe un effet 10 fois plus intense dans le jaune que dans le violet, on ne divise pas le résultat obtenu par 10, bien que l'intensité lumineuse du jaune puisse être 10 fois plus grande que celle du violet. Et de même si les rayons violets agissent 10 fois plus activement sur une autre fonction de la plante que les rayons jaunes, on ne divisera pas le résultat obtenu par 10, en songeant que l'énergie chimique est 10 fois plus grande dans le violet que dans le jaune. En résumé, dans l'ignorance où l'on est de savoir si les actions de radiation interviennent par l'intensité lumineuse ou par l'intensité chimique, on s'abstient de rapporter les résultats obtenus à l'unité de lumière ou à l'unité d'énergie chimique. Les comparaisons de l'action des radiations effectuées par les botanistes et les physiolologistes à l'aide du spectre indiquent seulement l'activité inégale de l'énergie accumulée sous ses diverses formes aux divers points d'un spectre normalement constitué.

M. Wiesner, opérant par la méthode des écrans colorés, a obtenu les résultats suivants pour le *retard de croissance* apporté par différents rayons à une jeune tige de vesce.

	Croissance
Obscurité	32 m/m
Bleu	17 m/m
Vert	25 m/m
Jaune	29 m/m
Rouge	26 m/m
Lumière blanche	16 m/m

On peut remarquer que les rayons bleus ont réduit la croissance de près de moitié. Ce seraient les rayons les plus actifs à ce point de vue ; mais il convient d'observer que l'on aurait obtenu peut-être un résultat différent si, au lieu d'opérer avec une égale intensité lumineuse, on avait fait agir les divers rayons avec l'intensité différente qu'ils ont dans le spectre normal. Les rayons jaunes, qui ont dans ce spectre un éclat bien supérieur à celui des rayons bleus, auraient certainement déterminé une action retardatrice au moins égale à celle des rayons bleus.

La lumière blanche paraît avoir la plus grande activité pour déterminer un arrêt dans le développement de la plante et celle-ci y est extrêmement sensible au point qu'une tige de fève, exposée à 35 centimètres de la flamme d'un simple bec de gaz, a ralenti sa croissance de moitié.

S'il en est ainsi, il doit donc arriver que les plantes croissent plus vite la nuit que le jour ; et en réalité, si l'on maintient la température constante, on observe un accroissement très inégal des végétaux pendant ces deux périodes. Toutefois, si l'on observe d'heure en heure la vitesse de croissance, on constate qu'au lieu de varier en sens inverse de la lumière et de présenter un minimum vers midi ou un maximum vers minuit, les accroissements horaires vont en augmentant régulièrement du soir jusqu'au matin et diminuent régulièrement du matin jusqu'au soir. Cela vient de ce que l'effet produit par la radiation n'est pas instantané, mais succède, à quelques heures d'intervalle, à l'accroissement ou à la diminution de la radiation. Le maximum et le minimum sont ainsi retardés de plusieurs heures.

Toutefois, si l'on compare pour un long espace de

temps, — une saison, par exemple, — l'allongement moyen de la tige pendant le jour et pendant la nuit, on trouve que l'allongement diurne est supérieur à l'allongement nocturne. D'où vient cette contradiction apparente ? De ce que l'on a négligé l'action de la température indépendante de celle de la radiation. La température du jour est toujours, en effet, notablement plus élevée que celle de la nuit et par conséquent la plante, au point de vue de la température, est plus voisine des conditions *optima* de croissance pendant le jour que pendant la nuit. Le bénéfice de développement apporté par l'excès de température compense au delà le retard déterminé par la radiation. M. Rauwenhoff a obtenu les résultats suivants pour les deux actions totalisées.

	Accroissement	
	diurne	nocturne
Glycine.	57.8	42.2
Courge	57.2	42.8
Vigne	55.1	44.9

L'accroissement des plantes pendant la matinée serait plus faible que pendant la soirée. De 6 heures du matin à midi, l'allongement d'un rameau de vigne ne serait que les 67/100 de l'allongement produit entre midi et 6 heures du soir.

Vous êtes-vous demandé, cher lecteur, en présence d'un champ de blé au mois de mai, pourquoi ce blé *poussait si droit*, et avez-vous réfléchi aux désastreuses conséquences qui résulteraient d'un moment d'oubli de ses bons principes si l'épi, au lieu de s'élever fièrement au sommet de la tige, prenait fantaisie de s'abaisser vers le sol et de s'entre-croiser avec ses voisins ? Quelles

déplorables conséquences n'en résulterait-il pas pour l'agriculteur ! Adieu la maturation régulière, adieu l'emploi des râteaux javeleurs et des moissonneuses perfectionnées : ce serait la ruine de l'agriculture française.

Et tout cela, pourquoi ? parce que les tiges de blé auraient dévié de la verticale. Mais, au fond, y a-t-il une ficelle qui ramène la tige de nos plantes à la verticale, et le soleil, qui est si puissant, n'intervient-il pas un peu dans la question ?

Quelques botanistes hardis, mais peu humains — j'allais dire peu végétariens — n'ont pas hésité un seul instant à obliger de pauvres végétaux à pousser la tête en bas. On ne tarde pas à reconnaître que la tige se redresse et se dirige toujours suivant la verticale. On peut encore soumettre la plante à un autre exercice acrobatique et, la liant à un disque animé d'un mouvement régulier de rotation autour d'un axe horizontal, l'obliger à avoir, à moins d'une heure d'intervalle, sa tête là où elle avait ses pieds. Le résultat obtenu dans ces conditions est que la plante ne sait plus où se diriger et pousse dans la direction où on l'a primitivement disposée. Tout cela prouve, à peu de chose près, que la pesanteur intervient activement dans la station droite des plantes. Elle n'est cependant pas la seule à agir, et les rayons du soleil interviennent tour à tour soit pour obliger la plante à se départir de cette attitude, soit pour la confirmer dans ses bonnes résolutions.

Il suffit d'entrer, au printemps, dans une cave où l'on a conservé des pommes de terre pendant l'hiver, pour constater que, en général, elles ont poussé des tiges, et que ces tiges, au lieu de monter droit, s'*infléchissent* dans une direction commune qui est celle du soupirail d'où

leur vient un peu de lumière. Pourquoi se courbent-elles, au lieu de se tenir droites ? Est-ce de faiblesse ou d'épuisement ? Non, c'est le soleil qui les oriente, et ce que nous avons dit de l'action des radiations sur la croissance suffit à l'expliquer. Une tige droite, en effet, frappée latéralement par un rayon de soleil, a sa croissance arrêtée sur la face qui regarde la lumière, et comme elle continue à se développer sur la face opposée, il en résulte forcément une courbure qui l'oriente précisément dans la direction de la lumière. Ainsi, dans ce cas particulier, le rayon de soleil fait déroger utilement la plante à son grand principe qui est de se tenir droite, pour lui permettre de recevoir une plus grande quantité de lumière, en se développant précisément dans la direction d'où arrivent les radiations du soleil : Encore des félicitations à adresser à l'astre du jour.

Les botanistes ont néanmoins observé quelques plantes qui fuyaient la lumière et se courbaient à l'inverse du soleil. On peut encore expliquer ce mouvement par un *arrêt inégal de croissance*. La diminution de croissance n'est pas, en effet, indépendante de l'intensité de la radiation, et il existe toujours pour chaque plante une intensité optima qui retarde le plus possible la croissance. Or il arrive, pour quelques plantes à tiges transparentes, que l'intensité optima n'est pas atteinte sur la face directement éclairée, mais bien sur la face opposée. Celle-ci se développe moins vite et la courbure qui en résulte fait pencher la plante à l'inverse du soleil.

Cette action du soleil sur l'orientation des végétaux présente une intensité exceptionnelle chez certaines plantes inférieures en organisation, mais probablement supérieures en sensibilité, et l'on a trouvé des végétaux

qui, avec un peu d'éducation, étaient devenus de parfaits acrobates. Telle est la clostérie. Cette petite algue monocellulaire, pourvue de matière verte, s'oriente en général parallèlement aux rayons de lumière. Ses pieds adhèrent au sol et sa tête fait face au soleil ; mais au bout de quelque temps, si la lumière continue à arriver avec une égale intensité, ses pieds abandonnent le sol, sa tête s'abaisse et, lui servant de point d'appui, lui permet de présenter ses pieds au soleil. Les pieds de l'algue sont devenus sa tête, et après un instant de repos, la même évolution recommence. Tel on voit, dans un cirque, un clown piquer une tête en avant et, s'enlevant rapidement sur ses mains, retomber aussitôt sur ses pieds pour parcourir la piste par ce singulier procédé de locomotion.

Toutes les lumières simples contenues dans un rayon de soleil ne sont pas également propres à provoquer ces phénomènes d'inflexion des tiges de nos plantes échauffées latéralement par la radiation. Les rayons jaunes sont à peu près incompétents. Les rayons rouges paraissent plus actifs, mais l'action la plus intense paraît être exercée par les rayons situés à la limite du violet et de l'ultra-violet. Ce sont les rayons essentiellement chimiques, et l'orientation de la plante paraît due surtout aux rayons les plus réfrangibles du spectre.

On peut se demander, dès lors, pourquoi toutes nos plantes ne penchent pas vers le sud, puisque, sous nos latitudes, les rayons de soleil sont toujours plus ou moins obliques provenant de cette direction. Mais on peut remarquer que la flexion provoquée par la radiation n'intéresse que les parties les plus jeunes de la plante, que cette action n'a lieu que pendant le jour et que l'orientation donnée pendant cette période s'éva-

nouit partiellement pendant celle de la nuit. Il faut remarquer aussi que l'action directrice étant exercée plus spécialement par les rayons bleus et violets et que ces rayons abondant surtout dans la lumière diffuse de l'atmosphère, la plante doit s'orienter de manière à être symétrique par rapport à la distribution de l'intensité de la lumière diffuse. Cette condition de symétrie entraîne la verticalité de la tige.

Enfin, l'orientation de la pesanteur réclame ses droits qui, pour n'être pas toujours intelligibles, n'en sont pas moins réels. Et voilà pourquoi, en général, nos plantes poussent droit.

Assimilation du carbone. — L'examen de la composition chimique des parties jeunes et non encore lignifiées de nos plantes montre que l'eau prédomine dans leur constitution. Elle forme assez souvent 80 o/o du poids des tissus végétaux. Les 20 o/o de matière sèche sont constitués par un grand nombre d'éléments différents. Les études des physiologistes ont cependant montré que les éléments essentiels se réduisaient à 12, dont voici la liste : carbone, oxygène, hydrogène, azote, phosphore, soufre, chlore, potassium, calcium, magnésium, fer. Parmi ces divers corps simples, les uns ne figurent qu'en très petite proportion. Les éléments dominants en quantité sont : le carbone, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote; mais le carbone tient la première place. Sur les 20 o/o de matière sèche qui constituent les tissus de la plante, le carbone figure pour 50 o/o. Comment pénètre dans la plante cet élément si important? Le soleil que nous avons vu envoyer jusqu'au sol tant de choses utiles n'intervient-il pas dans cette opération?

Tandis que la plupart des autres éléments pénètrent

dans la plante par voie souterraine et que le mécanisme de leur introduction dans le végétal est ainsi à peu près soustrait à l'action directe de la radiation, la plus grande partie du carbone, au contraire, s'introduit dans le végétal par voie aérienne. Les feuilles empruntent cet élément à l'acide carbonique de l'air et la pénétration du carbone dans les feuilles se passe ainsi au grand jour, en pleine lumière. C'est peut-être pour cela que le soleil exerce un contrôle si direct sur cette opération essentielle au développement de la plante et qu'aucune particule de carbone ne peut s'ajouter utilement à l'édifice végétal, qu'il n'y ait, en souverain absolu et quelque peu tyrannique, apposé son visa.

Pour bien saisir le mécanisme de l'intervention du soleil dans l'assimilation du carbone, il serait peut-être nécessaire de faire précéder ces lignes d'un cours complet d'anatomie végétale. Mais pour ne pas sortir de notre sujet, nous réduirons ces notions à un minimum dont voici la substance.

Les tissus d'un végétal sont essentiellement constitués d'une série de cavités closes de membranes perméables aux liquides et aux gaz. Chacune de ces cavités a été comparée à une petite chambre et les botanistes les appellent *cellules végétales*.

L'intérieur d'une cellule adulte contient trois éléments fondamentaux :

1° Une substance organique azotée, douée de mouvement et de vie. Cette matière est ordinairement molle, très extensible, mais non élastique; elle est plastique. On l'appelle le *protoplasma*.

2° Une matière de constitution très voisine, mais un peu plus condensée, qui paraît présider à la naissance

des nouvelles cellules; ses contours sont plus nettement limités : c'est le *noyau*.

3° Un liquide tenant en dissolution les sels et les divers éléments dont vit le protoplasma. Ce liquide y pénètre du reste très facilement et le baigne de toute part: on l'a nommé *suc cellulaire*.

Le protoplasma jeune est une substance incolore, assez homogène; mais, avec l'âge, quelques-unes de ces parties ne tardent pas à s'individualiser. Il naît dans son sein, et souvent en grand nombre, de petits corps blancs ovoïdes, fortement réfringents (*leucites*), qui sont susceptibles de se colorer ultérieurement de divers pigments.

Un des passe-temps habituels des leucites non colorés paraît être la formation des grains d'amidon qui se développent peu à peu dans leur intérieur.

Les leucites colorés revêtent une série de teintes très variées, le rouge, le brun, le violet, etc., et déterminent les colorations si diverses de nos fleurs; mais leur teinte la plus générale sont le vertes. Les parties aériennes de la généralité de nos plantes sont vertes, les parties incolores ou différemment colorées sont considérées comme un accident, et si notre vue est agréablement impressionnée par les coloris variés de nos fleurs, c'est en partie parce que cette variété rompt utilement la monotonie de la nature végétale à cet égard. De là vient le discrédit de la couleur verte et le ton méprisant qui accompagne le jugement porté sur un paysage où le peintre a exagéré cette teinte générale de la végétation: «Mais c'est un affreux plat d'épinards!»

Si l'on se rendait mieux compte de l'utilité de cette matière verte, c'est à deux genoux qu'il faudrait tomber en admiration devant elle, sous quelque forme

qu'elle se manifeste, et si je n'ai pas la prétention, en faisant ressortir les admirables relations de la teinte verte de nos plantes avec l'utilisation d'un rayon de soleil, d'arriver à un résultat aussi décisif, j'ai du moins l'espoir de justifier la satisfaction intime de l'agriculteur qui, en présence de ses blés verdissant aux rayons du soleil de printemps, s'écrie intérieurement: Dieu, que c'est beau, comme c'est vert!

Le pigment vert qui colore les grains de leucite a été appelé *chlorophylle* ; son analyse montre qu'elle renferme environ 73 o/o de carbone, unis à 10 o/o d'hydrogène, 10 o/o d'oxygène, 5 o/o d'azote et 2 o/o de cendres minérales. Quand on traite des feuilles vertes par l'alcool, la chlorophylle s'en sépare et vient teinter la dissolution. Si l'on agite cette solution verte avec de la benzine, celle-ci dissout la chlorophylle et l'alcool reste coloré en jaune par une matière associée à la chlorophylle que l'on a nommée *xanthophylle.*

Le pigment chlorophyllien est, chez les plantes, intimement associé à la substance azotée des leucites et il en résulte des granulations vertes que l'on a appelées *grains de chlorophylle.* Les grains de chlorophylle naissent dans la cellule par la division des leucites ; ils peuvent s'associer pour constituer des lames linéaires, spiralées, étoilées, qui refendent le protoplasma dans l'intérieur de la cellule ; mais, plus généralement, ils restent isolés sous forme de grains qui sont surtout répartis dans la couche interne voisine de la paroi de la cellule. La fonction essentielle des grains de chlorophylle est de présider à l'assimilation du carbone par le végétal.

Nous allons donc examiner successivement : 1° comment interviennent les rayons du soleil pour fabriquer

la chlorophylle ; 2° comment intervient un rayon de lumière dans l'opération chimique qui conduit à l'assimilation du carbone.

Sans lumière, pas de plantes vertes, pas de chlorophylle. C'est un fait d'observation courante que les plantes que l'on élève à la lumière réduite d'un appartement ne tardent pas à jaunir ; la chlorophylle cesse de se former, elle disparaît même ; la matière colorante jaune, la xanthophylle, continue seule à se développer.

Toutes les plantes ne sont pas également sensibles à cette privation de lumière. Les mousses se développent vertes à l'ombre de nos bois et les fougères verdissent dans les anfractuosités des rochers, où la lumière leur arrive très affaiblie. Mais ce sont là des plantes qui ont subi une longue éducation, qui se sont adaptées à leur milieu et qui, trouvant dans leurs séjours obscurs des conditions d'humidité plus favorables à leur développement, ont transigé avec la loi générale et se contentent des rares rayons que le soleil veut bien leur accorder. Les conifères, eux aussi, paraissent se souvenir de leurs anciennes conditions d'existence en bois touffus, au sein desquels la lumière n'arrivait que fortement tamisée et leurs feuilles continuent à verdir dans une atmosphère à peu près dépourvue de lumière. Il faut remarquer, du reste, que «absence de lumière» n'est pas «absence de radiation» et que l'œil de la plante, représenté par sa chlorophylle, n'est pas forcément impressionné par les rayons qui émeuvent notre rétine. L'expérience prouve du reste que les plantes de pleine lumière peuvent, elles aussi, verdir lorsqu'on leur administre les rayons obscurs les plus voisins de la région rouge du spectre. La privation de lumière semble avoir accoutumé progressivement les plantes dont nous ve-

nons de parler à utiliser les radiations de moins en moins lumineuses et à se contenter, en dernière limite, des rayons obscurs du soleil.

Mais, pour la généralité de nos plantes, le *verdissement* complet ne peut être obtenu qu'en pleine lumière. L'examen poursuivi en soumettant des feuilles de blé, décolorées par un long séjour à l'obscurité, à la lumière étalée dans un spectre, montre que les rayons les plus favorables au verdissement sont les rayons jaunes et les rayons rouges. Dans les rayons ultra-violets, la chlorophylle se développe encore, mais avec une intensité rapidement décroissante.

La vitesse avec laquelle s'opère le verdissement d'une plante étiolée à l'obscurité varie avec la nature de la plante et la température de l'atmosphère où elle se développe. A la température de 17°, une simple flamme d'un bec de gaz, éclairant une plante de balsamine à $1^m,50$ de distance, a produit, au bout de 1 heure, un verdissement appréciable ; il a fallu 9 heures pour impressionner une plante de courge.

Une particularité intéressante de cette action de la lumière sur la génération de la chlorophylle est que l'effet de la radiation reçue persiste quelque temps après sa suppression. Une plante étiolée, soumise à la lumière pendant un temps insuffisant pour déterminer l'apparition de la chlorophylle transportée à l'obscurité, verdit quelques heures après. La lumière semble avoir pour effet de mettre en mouvement le mécanisme qui fabrique la chlorophylle dans les granulations du protoplasma, et le mécanisme, une fois lancé, continue son mouvement en vertu de l'inertie et réalise la mission dont la lumière l'avait chargé.

Mais à quoi sert-il, à la lumière, de fabriquer ainsi de

la chlorophylle ? Est-ce uniquement pour le plaisir des yeux ? Non, certes ? mais la lumière, en créant la chlorophylle avec les ressources de la plante, vient de se constituer un matériel spécial de fabrication en vue de l'assimilation du carbone. Ce matériel, représenté par la chlorophylle, est à la fois un tamis destiné au *triage* des rayons lumineux et peut être aussi un *transformateur* d'énergie rendant les rayons du soleil aptes à remplir la mission à laquelle la plante les a conviés.

Examinons d'abord le tamis, et pour cela, après avoir préparé une dissolution de chlorophylle dans l'alcool, interposons cette solution verte sur le trajet d'un rayon de lumière blanche. Si notre tamis est convenable, il va arrêter au passage certains rayons, en affaiblir d'autres et en laisser passer intacts un certain nombre, et, pour vérifier le résultat de l'opération, il nous suffira de décomposer ensuite ce rayon de lumière par un prisme de verre. Nous obtiendrons un spectre dans lequel manqueront les rayons qui auront été arrêtés, et à la place des teintes lumineuses de ces rayons nous observerons

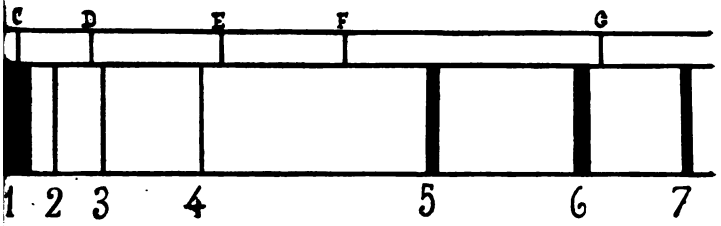


Fig. 31. — Spectre d'absorption de la chlorophylle

des plages obscures distribuées dans les diverses régions du spectre.

On peut d'ailleurs obtenir le même résultat en subs-

tituant à la dissolution de chlorophylle une feuille verte et transparente. On constate par ce procédé, dans le spectre de la lumière ainsi tamisée, sept bandes d'absorption. La plus foncée est située dans l'extrême rouge : c'est un gros trait noir qui occupe l'intervalle des raies B et C. L'absorption de ces rayons a été complète ; c'est le résultat principal de l'opération du triage. Du rouge au vert on trouve trois autres bandes obscures, mais beaucoup plus étroites et moins foncées. Enfin, trois autres bandes plus larges, mais très estompées, sillonnent le spectre des rayons violets, et comme la lumière est faible dans cette région du spectre, elles se rejoignent et la suppriment complètement dès que la solution verte est un peu concentrée.

Examinons les conséquences de ce tamisage. Pour une solution diluée de chlorophylle, pour une feuille transparente de nos végétaux, l'absorption porte surtout sur les rayons rouges. La lumière qui traverse doit donc être colorée de la teinte complémentaire ; elle sera verte par conséquent et la coloration générale de nos plantes se révèle comme le résultat immédiat du tamisage de la lumière blanche par les grains de chlorophylle.

Mais, encore une fois, dans quelle but la lumière a-t-elle créé la chlorophylle pour opérer ce triage des rayons lumineux ?

L'atmosphère que nous respirons renferme, un peu par notre faute, il faut le dire, quelques traces de ce gaz irrespirable que nous appelons l'acide carbonique. Il y en a fort peu, il est vrai (3 parties sur 10,000 environ) ; mais si notre respiration, celle de nos animaux domestiques, celle des ferments que nous élevons dans nos caves pour fabriquer notre vin ou notre bière, celle de tous nos animaux qui, pour vivre, brûlent du carbone et émet-

tent de l'acide carbonique, ajoutaient sans cesse ce gaz à l'atmosphère sans qu'il y fût décomposé, celle-ci deviendrait irrespirable et nous mourions tous asphyxiés. Les derniers survivants seraient les crocodiles, qui s'en accommodent mieux que nous, et les petits ferments, qui vivent dans ce milieu habituel. Il y avait là une triste perspective pour l'avenir, et le soleil a voulu y remédier.

Le gaz acide carbonique est assez soluble dans l'eau; à la température ordinaire, il peut s'y dissoudre à raison de 1 litre de gaz pour 1 litre d'eau, et, bien que la pression qu'il supporte dans l'atmosphère soit assez faible, il arrive à s'introduire en quantité appréciable dans les tissus de la plante. Le liquide cellulaire peut l'emmagasiner à raison de $0^{cc},3$ par litre environ, et comme un litre d'eau ne dissout que 8^{cc} d'oxygène et 16^{cc} d'azote, la proportion d'acide carbonique dans le mélange gazeux dissous dans les liquides de la plante peut devenir bien plus élevée que dans l'air et atteindre 0,3 pour 24, soit un peu plus de 1 o/o. C'est sur ce mélange, qui pénètre la matière vivante de la plante, que celle-ci va dépenser son activité chaque fois qu'elle y sera invitée par un rayon de soleil.

Tant que la plante est à l'obscurité, l'acide carbonique est pour elle un gaz inerte; mais ses feuilles s'illuminent-elles d'un rayon de lumière qu'aussitôt, dans le voisinage immédiat du grain de chlorophylle, prend naissance, aux dépens de l'acide carbonique, un gaz : l'oxygène, et un solide : le carbone. Le gaz (l'oxygène) chemine dans les tissus et s'échappe à l'extérieur. Il en naît un volume pour chaque volume d'acide carbonique détruit. Le solide (le carbone) s'associe aux éléments de la plante, y constitue des hydrates de carbone et l'amidon que nous avons vu naître au contact des grains de

chlorophylle paraît être l'un des produits de cette association.

Les chimistes ont toutefois reconnu que, dans leurs laboratoires, l'acide carbonique ne se décomposait pas tout d'une pièce, mais qu'il commençait par perdre d'abord la moitié de son oxygène en se réduisant en oxyde de carbone. Les botanistes, d'autre part, ont montré que l'oxyde de carbone ne pouvait être décomposé par la plante. L'opération effectuée par le soleil devrait donc s'arrêter à moitié chemin et ne donner qu'un demi-volume d'oxygène pour un volume d'acide carbonique. Et cependant il sort un volume d'oxygène, et bonne mesure encore. Il faut donc une explication. Elle est bien simple: Nous dirons que le soleil a aussi le pouvoir de décomposer l'eau et que pendant qu'il détruit une molécule d'acide carbonique, il détruit une demi-molécule d'eau. Il en naît un volume d'hydrogène et un demi-volume d'oxygène. 1/2 et 1/2 font 1, c'est bien clair, et l'hydrogène, ne pouvant rester les bras croisés et s'obstinant à ne pas sortir de la plante, va trouver le carbone et fonde avec lui une société sous le titre : « fabrication des hydrates de carbone à l'usage des végétaux : cellulose, sucre, gomme, fécule et amidon... »

Mais rien ne prouve que le soleil n'en sache pas plus long que les chimistes pour décomposer l'acide carbonique, et que, aidé de l'intervention des secrètes menées du protoplasma vivant, il ne sache pas décomposer d'un seul coup une molécule d'acide carbonique.

Le rôle essentiel de la lumière sur la végétation paraît donc résulter de cette destruction de l'acide carbonique et de la fixation du carbone. Grâce à elle, le végétal organise et développe ses tissus ; il croît à la lumière ; il s'étiole à l'obscurité et, sans appauvrir le

sol, la plante puise dans l'atmosphère une bonne part de sa nourriture.

M. Radau établit ainsi le taux du carbone, dont une récolte de trèfle est redevable au soleil, dans l'intervalle d'une année. Dans le pays de Caux, la récolte du trèfle fournit, aux environs de Fécamp, 7,336 kilos d'herbe fanée par hectare, contenant 16 °/₀ d'eau. Il reste en outre, sur le sol, 815 kilos de débris et, dans le sol, 1,280 kilos de racines où la matière organique entre pour 1,145 kilos. Les 8,161 kilos de fourrages contiennent 7,300 kilos de matière organique ; en y ajoutant les 1,145 kilos de racines, on a un total de 8,445 kilos par hectare. Or la matière organique des végétaux renferme 44 °/₀ de carbone. Le champ de trèfle a donc fixé, au moment de la récolte, 3,716 kilos de carbone emprunté à l'acide carbonique de l'air. Cette quantité de carbone correspond à 6,890,000 litres d'acide carbonique.

D'autre part, M. Chevandier a trouvé, en analysant les produits fournis par deux forêts âgées de 60 ans environ, que le soleil y fixait annuellement près de 1,800 kilos de carbone.

Cette quantité de carbone, fait remarquer M. E. Becquerel, représente une couche de houille qui recouvrirait le sol et qui aurait environ 13/100 de millimètre d'épaisseur. Comme, d'autre part, la totalité du carbone extrait de l'acide carbonique de l'atmosphère ne représente qu'une couche de houille de $1^{mm},3$ d'épaisseur, on voit que si toute la surface du globe était couverte d'une végétation égale à celle des forêts étudiées par M. Chevandier et que l'acide carbonique ne se renouvelât pas, au bout de 10 ans environ l'air en serait entièrement dépouillé.

Les chimistes ont, d'autre part, déterminé la quantité

de chaleur qui est nécessaire pour décomposer un litre d'acide carbonique, et si l'on compare l'énergie solaire utilisée par l'opération précédente avec celle que le soleil verse à la surface d'un hectare, on trouve que l'utilisation n'est guère que de 1 p. 1000.

M. E. Becquerel estimait, d'après les données de MM. E. Chevandier et Boussingault, que le coefficient d'utilisation était compris entre 1 et 4 p. 1000.

On voit la marge considérable qui est laissée à l'agriculteur pour utiliser par ses récoltes l'acide carbonique de l'air. Il peut doubler, tripler, décupler la surface des feuilles exposée à la lumière, et le soleil, généreux, ne lui refusera jamais de quoi satisfaire aux exigences de la plante.

Tous les rayons, toutefois, ne sont pas également aptes à provoquer cette décomposition de l'acide carbonique. L'expérience faite en exposant des feuilles de graminées enfermées dans des tubes remplis de solution d'acide carbonique et distribués dans les différentes régions du spectre a montré que les rayons rouges étaient les plus propres à effectuer la fixation du carbone. M. Draper, à qui l'on doit les premières expériences précises à ce sujet, a obtenu par cette méthode les résultats suivants :

Couleur de la lumière incidente	Gaz acide carbonique dégagé	
	1re expérience.	2e expérience
Rouge foncé	0,33	»
Rouge et orangé	20,00	24,75
Jaune et vert.	36,00	43,75
Vert et bleu	0,10	4,10
Bleu.	»	1,00
Indigo	»	»
Violet.	»	»

M. Draper a répété les mêmes expériences en se servant d'écrans colorés qui ne laissent passer que les rayons d'une couleur déterminée. Ayant pris trois tubes avec feuille de graminée disposés comme pour l'expérience précédente, il les exposa simplement à l'action de la lumière solaire : le premier à la lumière libre, le second sous un écran formé d'une dissolution de bichromate de potasse, le troisième sous un écran de sulfate de cuivre ammoniacal. Il obtint pour les volumes de gaz dégagés les valeurs suivantes :

Nature des rayons transmis	Gaz dégagé
Lumière naturelle, totalité des rayons.....	4cc75
Bichromate de potasse (rouge-orangé et jaune-vert).....	4,55
Sulfate de cuivre ammoniacal (bleu et violet.	0,75

M. Timiriazeff a montré, de plus, que c'était précisément le groupe de rayons rouges absorbés par la solution de chlorophylle qui provoquaient la décomposition la plus énergique de l'acide carbonique. Les rayons verts, au contraire, qui passent intacts, sont à peu près inefficaces, et l'activité des rayons violets et ultra-violets est à peu près insignifiante, bien que l'absorption y soit très forte.

M. Timiriazeff a, de plus, remarqué, en rapportant la dispersion du prisme qu'il a observé à celle du spectre normal, que le maximum d'absorption du rouge et le maximum de décomposition qui lui correspond se superposent avec le maximum de l'énergie calorifique. Les rayons rouges seraient donc plus propres à la fixation du carbone, parce que à la fois ils sont plus absorbés par la chlorophylle et apportent avec eux plus

d'énergie calorifique. La faible action des rayons les plus réfrangibles serait due à la faiblesse de la chaleur qu'ils apportent avec eux. Toutefois, M. Engelmann, par une méthode différente, a mis en évidence l'existence d'un maximum secondaire de décomposition de l'acide carbonique au délà de la raie F.; M. Engelmann fait tomber sur un filament de conferve végétant dans un liquide peuplé de *bactéries* un spectre très pur. Les bactéries, avides d'oxygène, se groupent de préférence dans les parties du filament où l'émission d'oxygène résultant de la décomposition de l'acide carbonique est le plus active. Leur accumulation aux divers points du filament de conferve donne à l'œil l'impression de la courbe de l'énergie photochimique des divers rayons du spectre agissant sur la chlorophylle. Le maximum principal s'observe, de même que par la méthode précédente, entre les raies B et C. La longueur d'onde 580 sépare en deux moitiés la courbe de l'intensité de l'assimilation du carbone. Cette même longueur d'onde 580 divise aussi en deux parties équivalentes la courbe de la répartition de l'énergie calorifique dans le spectre solaire.

Il résulte de ces diverses observations que l'intensité de la décomposition de l'acide carbonique provoquée par un rayon de longueur d'onde déterminée ne dépend que de deux éléments, savoir: de l'énergie actuelle de ce rayon et de son coefficient d'absorption par la chlorophylle. Les radiations les plus efficaces sont celles qui, étant le mieux absorbées par la chlorophylle, possèdent en même temps la plus grande énergie actuelle. Tel est le cas des rayons rouges

C'est ici qu'apparaît l'économie de l'appareil transformateur réalisé par la chlorophylle. Nous avons vu en

effet, en étudiant la distribution de l'énergie chimique dans le spectre, que le maximum d'énergie chimique existait pour le violet et que les rayons rouges étaient impropres à opérer les réductions. Mais nous avons vu aussi que si on absorbait sur une plaque photographique les rayons rouges par un colorant, ils devenaient alors actifs et opéraient des réductions aussi intenses que les rayons violets. La plante avait besoin de quantités de chaleur assez considérables pour décomposer l'acide carbonique, et ne pouvant les demander aux rayons chimiques ultra-violets, elle semble en avoir référé au soleil. Et celui-ci, toujours bienfaisant, créa la chlorophylle, dont l'un des rôles non moins essentiels paraît être de transformer l'énergie calorifique des rayons rouges en énergie chimique de décomposition.

Le phénomène de décomposition de l'acide carbonique, qui est pour la plante un des principaux actes de sa nutrition, n'est pas sans relation avec une autre fonction générale de la plante: sa *respiration*. Les tissus vivants de la plante, comme ceux de l'animal, sont le siège d'oxydations incessantes, de combustions qui se traduisent par une fixation d'oxygène et une émission d'acide carbonique. La plante pourrait puiser l'oxygène dont elle a besoin pour sa respiration au sein de l'atmosphère, dont il constitue la cinquième partie; mais pourquoi aller chercher loin ce que l'on a si près. Les tissus des végétaux respirent en partie l'oxygène émis par la décomposition de l'acide carbonique, et réciproquement, le soleil, au lieu de décomposer l'acide carbonique directement puisé dans l'atmosphère, peut aussi porter son activité sur l'acide carbonique produit par la respiration dans les tissus de la plante.

Pendant le jour, à la lumière, la plante cesse d'émettre

l'acide carbonique qui devrait traduire sa respiration intérieure, et l'émission d'oxygène qui accompagne sa nutrition se trouve diminuée de la quantité empruntée par sa respiration.

Pendant la nuit, la dissociation de l'acide carbonique cesse, avec elle l'émission d'oxygène, mais la plante respire et émet de l'acide carbonique.

De là, grâce au soleil, l'existence d'un régime apparent de respiration diffère chez la plante et chez l'animal. L'animal ne cesse d'émettre, jour et nuit, de l'acide carbonique ; la plante, au contraire, rejette de l'acide carbonique la nuit et de l'oxygène pendant le jour. Cette différence apparente, on le voit, tient à l'association étroite de ces deux phénomènes respiration et nutrition, et le trait d'union qui les unit est fait d'un rayon de soleil.

Circulation de l'eau dans la plante.— Le soleil rend encore un service signalé aux végétaux, et par suite aux agriculteurs, en intervenant utilement dans un phénomène de nutrition essentiel pour la vie de la plante. Les racines de nos végétaux sont plongées en général dans un sol humide contenant, dans les conditions d'humidité moyenne, environ 10 o/o d'eau. La réserve d'eau contenue dans le sol est donc considérable et il semble, au premier abord, que les racines de la plante n'aient qu'à se laisser pénétrer par cette eau qui les baigne de toute part et n'aient rien à demander à l'intervention du soleil. Il n'en est rien; et si le soleil ne brillait pas périodiquement au-dessus de l'horizon, les bénéfices que la plante peut retirer de l'introduction de l'eau dans ses tissus seraient considérablement réduits.

Grâce au phénomène d'*osmose*, les liquides et, avec

eux, les sels qu'ils tiennent en dissolution pénètrent dans les cellules des racines et, cheminant de proche en proche, se distribuent dans tout l'organisme végétal. Les cellules se gonflent, se tendent à pleine peau et l'on voit même, dans certaines espèces, le liquide s'extravaser et suinter lentement à l'extérieur. Mais cette circulation du liquide dans les tissus serait insignifiante sans l'intervention du phénomène de l'*évaporation*.

Tout liquide exposé librement à l'air ou mouillant les interstices d'un corps poreux disparaît lentement à l'état de vapeurs et l'eau manifeste, à ce sujet, une certaine activité. En l'absence de tout phénomène spécial de la vie et de toute radiation reçue, l'eau s'évaporerait des tissus de nos plantes ; mais dans les conditions réelles de leur organisation, cette perte par évaporation ou par transpiration serait très faible sans l'aide d'un rayon de soleil. Le végétal exposé à l'obscurité évapore très peu ; sa transpiration devient active dès qu'il reçoit des rayons de lumière diffuse ; elle s'exagère au soleil.

Les chiffres suivants, donnés par l'expérience, montrent l'importance de cette action :

Évaporation	Blé	Orge
Soleil.	88.2	74.2
Lumière diffuse.	17.7	18
Obscurité	1.1	2.3

On observe également que la chlorophylle paraît intervenir dans ce phénomène, car l'action d'un rayon de soleil succédant à la lumière diffuse accélère la transpiration dans le rapport de 1 à 1,7 pour le maïs étiolé et de 1 à 3,9 pour le maïs vert.

L'action des diverses radiations sur la transpiration

des végétaux est un peu de même ordre que celle exercée sur le phénomène de la décomposition de l'acide carbonique. Des feuilles de blé, exposées dans les diverses régions du spectre, indiquent un maximum principal de transpiration dans le bleu et un maximum secondaire bien accusé dans le rouge. Ce dernier maximum concorde assez exactement avec celui de la décomposition de l'acide carbonique. L'action élective et transformatrice de la chlorophylle apparaît encore ici, mais les rayons réfrangibles utilisent cette fois plus complètement l'énergie chimique qui les accompagne toujours.

Indépendamment, du reste, de cette action directe de la radiation sur l'évaporation, l'énergie calorifique du soleil intervient encore pour régler le phénomène en élevant la température de l'air et en abaissant son état hygrométrique. L'observation a encore montré que la vitesse de l'évaporation des liquides (et la transpiration des plantes obéit à cette loi) croît avec la température et diminue avec la quantité d'eau que l'atmosphère tient en dissolution.

La vitalité de la matière qui constitue les tissus de la plante, tout en laissant subsister quelques points communs entre l'*évaporation* des liquides inertes et la *transpiration* du végétal, détermine des différences essentielles dans la marche des deux phénomènes. L'évaporation d'un liquide cesse dès que l'atmosphère qui surmonte ce liquide est saturée de sa vapeur ; la transpiration de la plante continue, au contraire, dans un air complètement saturé, pourvu qu'elle ne cesse de recevoir de la lumière. La vitalité des tissus paraît en outre ralentir considérablement l'activité de l'évaporation ; il suffit de tuer une plante pour entraîner sa dessiccation rapide. Le foin que l'on a coupé perd dans la journée

plusieurs fois la quantité d'eau qu'il aurait transpirée s'il était resté sur pied. C'est à ce flétrissement rapide du végétal entraîné par l'évaporation plus active, qui s'opère sur les tissus morts, que fait allusion le poète latin :

Purpureus veluti cum flos succisus aratro languescit moriens.
Comme la fleur de pourpre, tranchée par le soc de la charrue, languit et se meurt.

L'énergie vitale et l'énergie solaire s'associent donc pour régler le phénomène de la transpiration des plantes ; l'une le modère, l'autre l'active et tend à rendre la circulation des liquides, dans le végétal, proportionnelle à ses besoins, c'est-à-dire à l'activité de la décomposition de l'acide carbonique. Il semble que la nature ait voulu que, pour chaque atome de carbone fixé dans les tissus, il entrât par les racines une quantité correspondante de principes nutritifs, tels que sels azotés, phosphatés, sulfatés, à base de potasse ou de chaux, dont l'union avec le carbone et les éléments de l'eau concourent à la formation des principes essentiels à la vie de la plante.

Bien plus, la nature semble avoir prévu les excès dont pourrait se rendre coupable la radiation solaire, et de peur qu'à un moment donné l'activité de l'assimilation du carbone et des autres éléments ne devienne trop grande au détriment de la meilleure utilisation possible de l'énergie secrète dont la matière vivante est le siège, elle a donné à la plante la possibilité de se soustraire partiellement à l'action du soleil.

Pour arriver à ce résultat, le végétal emploie deux procédés très rationnels et qui ont dû certainement germer dans le cerveau des nègres avant l'abolition de l'esclavage dans les colonies européennes. Supposons,

en effet, un de ces nègres que l'on nous représente comme quelque peu malmenés par le bâton des colons européens. Quel parti prendra-t-il pour éviter l'absorption d'une intempestive énergie ? Deux moyens se présentent à lui : ou bien tâcher de devenir blanc, ou bien s'arranger pour éviter les coups de bâton. La plante, qui n'avait pas toutes les ressources du nègre à ce dernier point de vue et qui ne pouvait se déplacer sensiblement dans le sol où l'attachent ses racines, a réalisé cependant ces deux procédés.

La flexion déterminée par les radiations latérales a en général, pour effet, d'effacer l'axe de la plante devant les rayons de soleil en l'orientant parallèlement à ceux-ci. Dans ce mouvement, les feuilles, dont le plan est le plus souvent perpendiculaire à la direction de l'axe, viennent s'offrir au soleil et le reçoivent au maximum tant que son intensité est favorable. Mais, si la limite de l'intensité utile est dépassée, la flexion de l'axe cesse de se produire et la feuille s'efface partiellement devant le soleil.

Sommeil des plantes. — Les feuilles d'un grand nombre de plantes sont, de plus, animées, indépendamment de l'axe, de mouvements spéciaux qui paraissent au premier abord assez voisins de ceux excités par la sensibilité de l'animal. Les feuilles des plantes ont une station de veille et une station de sommeil. Pendant l'état de veille, les parties planes de la feuille s'étalent et présentent leur surface maxima à l'activité de la lumière. Pendant la période de sommeil, les folioles des feuilles composées se replient et se rabattent l'une vers l'autre en se présentant dans les conditions les plus favorables pour s'assurer la moindre déperdition de chaleur. Les

variations de l'intensité lumineuse, son exagération, produisent chez les plantes les mouvements caractéristiques du sommeil. L'anatomie des feuilles qui présentent cette singulière propriété montre que ces mouvements leur sont communiqués par la turgescence variable d'un petit mamelon charnu, qui se gonfle ou se détend, suivant le régime de l'évaporation, dans le voisinage de leur point d'insertion sur l'axe qui les supporte.

Enfin, les grains de chlorophylle eux-mêmes peuvent émigrer dans la cellule et se soustraire aux excès de

Fig. 32. — Sommeil d'une feuille de sensitive.

Fig. 33. — Sommeil d'un rameau de cassia.

l'énergie solaire. Quand la lumière est modérée, les lames de chlorophylle s'orientent perpendiculairement à la direction des rayons de lumière; les grains chlorophylliens se groupent plus abondants sur la paroi de la cellule où agit surtout la lumière. Mais si, au contraire, la radiation devient trop intense, les lames

chlorophylliennes subissent une rotation et présentent leur tranche au rayonnement; les grains de chlorophylle émigrent et vont se rassembler sur la face opposée ou sur les faces latérales.

Les mouvements que les variations de l'intensité lumineuse peuvent provoquer chez les organes des végétaux ne sont pas moins intenses chez les fleurs que chez les feuilles. Le phénomène délicat de la *fécondation* nécessite des conditions déterminées de température et d'humidité, qui ne sauraient être dépassées sans compromettre les résultats de cette mystérieuse opération. Les mouvements des corolles de la plupart des fleurs, provoqués par la lumière, paraissent avoir pour but de régler ces conditions essentielles.

Quelques fleurs, il est vrai, ne s'ouvrent qu'une seule fois dans leur existence; elles vivent moins que ce que vivent les roses. Les cistes fleurissent le matin et les fleurs tombent au plus tard l'après-midi. Mais la plupart de nos fleurs fleurissent plusieurs jours de suite, et beaucoup d'entre elles se ferment et s'ouvrent périodiquement pendant cet intervalle.

Les *belles de nuit* s'ouvrent le soir, vers le coucher du soleil, restent épanouies pendant toute la nuit et se referment aux premiers rayons du soleil.

Les ornithogales, au contraire, s'ouvrent vers onze heures du matin et se ferment vers trois heures du soir: on les a nommées les *dames de onze heures*.

Linné a, le premier, étudié ces phénomènes, et se bornant à noter les heures diverses auxquelles les fleurs s'épanouissent et se ferment, a composé ce qu'il a appelé l'horloge de Flore. De Candolle a poursuivi une série d'expériences, au Muséum d'histoire naturelle, en comparant les heures d'épanouissement de deux

sortes de plantes, les unes exposées à la lumière normale du jour, les autres éclairées artificiellement dans une cave par 6 lampes éclairant chacune comme 9 bougies.

Les fleurs exposées à cette faible lumière continue et artificielle ont, en général, présenté une périodicité d'épanouissement analogue à celle qu'elles possèdent en pleine lumière. Les belles de nuit ont paru tout d'abord se rappeler les heures auxquelles elles avaient coutume de s'ouvrir à l'air libre ; mais ce souvenir s'est effacé au bout de quelques jours, et on a pu les amener à fleurir le jour et à se fermer la nuit en intervertissant les périodes d'éclairement artificiel dans la cave maintenue à une température constante.

Les ornithogales, transportées fréquemment d'un lieu éclairé à un lieu obscur, se sont toujours ouvertes au jour et fermées à la lumière, quelle que fût l'heure de la journée.

Les fleurs éphémères, telles que les cistes placés dans l'obscurité de la cave, ont fleuri plusieurs fois de suite à la même heure qu'en plein air ; mais, dans quelques espèces, la floraison a duré davantage et quelques-unes ont pu se fermer avant de tomber, ce qui n'arrive jamais à ces fleurs.

La lumière exerce donc une action manifeste sur les mouvements périodiques des fleurs de nos plantes, et les irrégularités de son action, observées par de Candolle sur la floraison de quelques plantes, révèlent les liaisons intimes des diverses fonctions du végétal. Les actions directes émanant de l'extérieur, telles que celles de la lumière, tendent toujours à obtenir leur effet. Si le résultat n'est pas apparent, c'est qu'il a été annulé par l'effet inverse d'une autre fonction de la plante. Si ces

fonctions inverses sont régulières, elles constituent pour la plante une espèce d'habitude, et l'exemple de la belle nuit de de Candolle semblerait prouver que, pour la plante comme pour les animaux, l'habitude peut devenir une seconde nature. Les recherches expérimentales tendant à établir l'action isolée dans un agent extérieur déterminé ont souvent à lutter contre des obstacles de ce genre.

Tels sont les principaux procédés qui permettent à la plante de régler elle-même, suivant ses besoins, l'intensité de la radiation qui lui est la plus utile.

Le végétal emploie, en outre, le second procédé, plus radical, que le nègre ne peut essayer. Sous l'influence d'une lumière trop vive, elle perd sa couleur verte. Les grains de chlorophylle se décolorent et s'atrophient; les feuilles, qui ont été soumises à une insolation trop intense, jaunissent par un excès de lumière, comme elles le faisaient dans l'obscurité. Les plantes *étiolées* ne verdissent pas ou ne verdissent que très lentement à la lumière directe du soleil; elles reprennent beaucoup plus rapidement leur coloration verte par une exposition ménagée à la lumière diffuse.

Malgré ces divers procédés de régulation que la plante emploie pour tempérer l'énergie intempestive du soleil, celui-ci ne laisse pas de provoquer parfois des lésions mortelles. Ces accidents, qui sont connus des horticulteurs sous le nom de *brûlure* des feuilles, se produisent surtout lorsque l'homme ou la nature impose à la plante des conditions artificielles de végétation. Les plantes dont la croissance a été activée dans une atmosphère chaude et humide y sont particulièrement sujettes. La présence de gouttelettes liquides de rosée entravant localement la transpiration de la plante paraît,

dans certains cas, amener la brûlure des feuilles exposées brusquement en plein soleil. Les jardiniers évitent dans ce but d'arroser les plantes au gros de la chaleur. Toutefois, plusieurs cas de brûlure des feuilles attribués au soleil doivent être mis sur le compte du développement de champignons parasites, dont l'humidité et une température élevée favorisent la rapide croissance et entraînent la désorganisation des tissus au sein desquels ils se développent.

Quel que soit du reste le mécanisme intime de ces altérations, le soleil ne saurait en être déclaré irresponsable, et les horticulteurs emploient divers artifices pour y soustraire leurs plantes délicates. On fait quelquefois usage, dans ce but, de cloches en verre, blanches ou dépolies intérieurement, pour abriter les plantes récemment sorties de serres pendant la belle saison et encore trop délicates pour supporter les rayons directs du soleil.

La ville de Paris emploie des cages coniques en toile pour abriter du soleil certains végétaux déjà forts, principalement les conifères plantés nouvellement sur les pelouses, afin de faciliter leur reprise.

Dans un but analogue, on blanchit au lait de chaux les vitrages des serres ou des châssis sous lesquels on cultive des plantes trop sensibles aux rayons directs du soleil.

La matière verte paraît donc jouer dans la vie de la plante un rôle régulateur et actif essentiellement prépondérant, grâce à l'association utile qu'elle contracte avec les rayons de soleil, et si l'on réfléchit aux obstacles inégaux apportés à la transmission des divers rayons qui voyagent du soleil vers nous au travers de l'atmosphère, on peut se demander s'il existe une raison

qui justifie, pour la plante, le choix de la livrée verte qu'elle a si largement adoptée. C'est une considération de cette nature qui rend vraisemblable l'histoire suivante, dont nous ne garantissons pas du reste la parfaite authenticité.

Un rayon rouge se présente au contrôle de la douane organisée aux limites supérieures de l'atmosphère :

— Vous n'êtes pas chimiste, au moins, lui demande brutalement le douanier?

— Non, Monsieur, voyez plutôt; rien dans les mains, rien dans les poches; je suis d'ailleurs rayon rouge, et vous savez bien que ce n'est pas notre métier à nous. Mais regardez là-bas. Voici mes confrères, les rayons bleus, ce sont des chimistes peut-être.

— Bien, passez alors, répond l'atmosphère d'un ton fort grave.

Le rayon rouge arrive bien vite à peu de distance de la terre, et mettant chapeau bas :

— Pardon, Madame, que puis-je faire pour votre service?

— Pas grand'chose, vous n'êtes pas chimiste et vous ne valez rien pour décomposer l'acide carbonique dont je me sers pour fabriquer mes plantes.

— Pas sûr, répond vivement le rayon rouge; si vous aviez seulement la bonté de mettre sur les feuilles de toutes vos plantes un peu de matière verte, j'y pénètrerais facilement et vous verriez alors...

Ici s'arrête ce fragment de conversation inédite. Quelle fut la réponse? Je l'ignore, mais toujours est-il que depuis le jour où les plantes ont été peintes en vert par la chlorophylle, les rayons rouges accomplissent aussi bien et mieux que leurs frères, plus réfrangibles,

leur délicate et bienfaisante mission à la surface du globe.

La lumière exerce encore sur la plante une série d'actions moins bien définies, mais dont quelques-unes intéressent très directement la production agricole. La radiation directe du soleil paraît avoir une influence manifeste sur *la maturation des fruits*. Le fruit diffère de la feuille, pendant sa période de maturation, par la suppression presque complète de l'assimilation du carbone, et alors même qu'il est encore vert, il absorbe de l'oxygène et émet de l'acide carbonique. La respiration s'exagère et la transpiration augmente. Cette particularité indique qu'il se produit alors dans les tissus du végétal des oxydations plus énergiques; les acides peu oxygénés se transforment en acides plus oxygénés, et ceux-ci, à leur tour, subissant une oxydation plus complète, peuvent se résoudre en leurs éléments : acide carbonique et eau. En même temps, les éléments contenus dans le fruit vert subissent diverses transformations; les acides diminuent et font place au sucre; l'amidon peut aussi disparaître et être remplacé par la glucose.

Or, la lumière paraît essentiellement propre à opérer de pareilles modifications. M. Niepce Saint-Victor, ayant exposé au soleil de l'amidon en suspension dans de l'eau chargée d'un peu d'azotate d'urane, a vu l'amidon se changer en sucre.

L'acide oxalique, dans l'appareil de M. Marchand, en présence d'agents oxydants, se décompose en donnant de l'acide carbonique.

Beaucoup de matières colorantes végétales se décolorent en s'oxydant sous l'action de la lumière. La solution de chlorophylle est précisément dans ce cas. De

Ainsi, bien que la température diminue notablement, la durée de la période d'évolution des céréales se raccourcit, quand on remonte vers le nord, sous l'influence de l'augmentation de l'énergie lumineuse attribuée à la plante.

Enfin le soleil a tenu à mêler l'agréable à l'utile et, non content de nous assurer des fruits abondants et sucrés et d'activer leur maturation, il a voulu encore charmer nos yeux en toutes saisons par les colorations si variées et les nuances si délicates qu'il communique à nos fleurs. Les *matières colorantes des fleurs* qui naissent, comme la chlorophylle, sur les granulations du protoplasma, se développent comme elle à la lumière du jour. Lorsque l'atmosphère devient plus transparente, les nuances deviennent plus vives. Frédéric de Tschudi, dans son livre sur le *Monde des Alpes*, fait ressortir cette coloration brillante de la flore alpine : le coloris des plantes alpines est d'une fraîcheur et d'une vigueur admirables. A coté du jaune et du blanc des fleurs de la plaine, nous trouvons ici l'indigo le plus brillant, le rouge le plus éclatant et le plus velouté et un brun foncé qui passe jusqu'au noir ; le jaune et le blanc prennent les tons les plus purs et les plus éblouissants.

Le même accroissement dans l'intensité des colorations se retrouve chez les fleurs des régions polaires, ainsi que l'ont observé MM. Tisserand, Bonnier et Flahault. Les blés blancs à teint clair brunissent sous le ciel scandinave et, après quatre ans, prennent la teinte brune des semences de ces régions. Même changement pour les haricots : les variétés blanches deviennent jaunes, brunes ou vertes. Dans les espèces tachetées, les taches s'étendent et envahissent toute la graine.

La lumière exerce une action si puissante sur la pro-

duction des matières colorantes de nos fleurs qu'il suffit de modifier très légèrement sa composition pour changer le coloris de certaines fleurs. Nous empruntons à M. Ed. Becquerel la description du changement de couleur que produit l'interposition du vitrage d'une serre sur le développement de la fleur du lilas, principalement sur la variété nommée lilas de Marly.

«Quand on le fait fleurir en culture forcée dans une serre chaude, au lieu d'être violet plus ou moins rouge, il est alors complètement blanc. Pour obtenir ces fleurs incolores, les jardiniers prennent, dans un moment quelconque de l'hiver, des pieds enracinés de lilas et, les plantant sous une bâche, ils obtiennent la floraison des panicules blanches dans l'espace de quinze ou vingt jours ; une température constante de 15° environ suffit pour obtenir ce résultat. Quand la température constante de la serre où se trouvent les pieds de lilas est de 32° à 35°, on peut même obtenir la floraison en 14 jours. Le temps nécessaire pour que les boutons floraux soient ouverts dépend, bien entendu, de la température du milieu ambiant; mais qu'elle soit plus ou moins élevée et que la serre soit éclairée ou privée de lumière, bien que les boutons floraux présentent une légère trace de coloration, quand les fleurs sont ouvertes, elles sont tout à fait incolores. Tel est le moyen dont on se sert pour avoir tout l'hiver des bouquets de *lilas blanc*».

Bien que le mécanisme qui opère dans ces conditions la décoloration des fleurs du lilas soit assez complexe, et que la température plus élevée de la serre qui active la végétation puisse ne pas donner à la matière colorante le temps de se former en quantité suffisante, il est assez naturel d'attribuer une partie du phénomène à la modification de la lumière tamisée par les vitrages de la

serre. La température plus élevée du sol et le surcroît d'activité qui en résulte pour la végétation extérieure paraît ne pas intervenir dans le phénomène de la décoloration. M. Duchartre, ayant planté un pied de lilas dans une serre, fit épanouir une partie des rameaux à l'intérieur et l'autre partie à l'extérieur ; les rameaux intérieurs donnèrent des fleurs blanches et les rameaux extérieurs des fleurs lilas.

M. E. Becquerel fait remarquer qu'un certain nombre de fleurs naissent blanches et se colorent ensuite sous l'action de la lumière. D'autres fleurs présentent plusieurs colorations successives aux diverses époques de leur existence et les fleurs de certaines plantes d'appartement présentent des colorations bien moins vives que lorsqu'elles s'épanouissent en pleine lumière.

Les principes aromatiques des plantes se développent aussi davantage dans les régions polaires où la lumière est plus continue. M. Radau (1) fait remarquer que les légumes, le céleri, le raifort, l'ail, le persil, le cerfeuil, l'oignon ont une saveur d'autant plus forte que l'on remonte davantage dans le Nord. C'est dans le district d'Alten que se récoltent les graines de cumin les plus odorantes. La menthe poivrée, la lavande de Throndjem sont plus riches en essence que la menthe ou la lavande anglaise. Le tabac de Norvège est aussi particulièrement fort.

L'influence des radiations du soleil s'exerce sur tous les végétaux, mais certains y sont tout particulièrement sensibles. Parmi les végétaux de la région méridionale de la France qui en bénéficient le plus largement, la

(1) Radau. — La lumière et les climats.

vigne tient à bon droit la première place. Si le monopole des productions agricoles des diverses nations tient souvent aux conditions économiques qui réglementent leur culture, il est aussi largement déterminé par la constitution du climat. Si la France, malgré les désastres qu'a subis son vignoble, tient encore aujourd'hui la tête dans les statistiques de la production viticole, elle le doit en partie au soleil qui mûrit les pampres de ses vignes. Un poète bien connu des agriculteurs, dont il a célébré les « grands bœufs noirs tachés de roux », s'en est souvenu dans une de ses meilleures inspirations :

Au printemps, ma vigne, dans sa fleur,
D'une fillette a la pâleur;
L'été, c'est une fiancée
Qui fait craquer son corset vert;
A l'automne, tout est ouvert:
C'est la vendange et la pressée;
En hiver, pendant son sommeil,
Son vin remplace le soleil.

Bons Français, quand je vois mon verre
Plein de son vin couleur de feu,
Je songe, en remerciant Dieu,
Qu'ils n'en ont pas dans l'Angleterre.

Pierre DUPONT.

Lumière et microbes.— Les microorganismes, agents des fermentations ou causes de certaines affections morbides, sont impressionnés par la lumière. Quelques bactéries la recherchent et se développent de préférence dans les liquides éclairés ou même affectionnent de préférence certains rayons, tels que les rayons rouges. Engelmann signale une bactérie qu'il dénomme *bactérie photométrique* et qui ne devient mobile que sous

l'influence des rayons lumineux d'une certaine intensité.

Certaines espèces, au contraire, semblent fuir les rayons solaires; le ferment nitrique n'opère qu'à l'obscurité. M. Duclaux a observé que la lumière continue pouvait même devenir mortelle pour certaines espèces, et MM. Arloing et Roux ont vu diminuer très vite la vitalité du bacille du charbon sous l'action des rayons lumineux. Des recherches récentes de M. Pansini sur diverses espèces de bactéries lui ont permis de formuler les conclusions suivantes que nous empruntons au *Traité de bactériologie* de M. Macé :

« 1° La lumière diffuse elle-même a une action retardante sur le développement des microorganismes.

»2° La lumière directe du soleil a réellement une action stérilisante sur les microorganismes, en outre d'une action retardante sur leur développement.

»3° L'action stérilisante proprement dite se produit quand les rayons du soleil tombent perpendiculairement ou à peu près sur la surface des cultures.

»4° L'action stérilisante et retardante de la lumière exige, pour produire son effet, un temps variable selon les différents microorganismes.

»9° Les spores sont tuées par la lumière en tant que spores et non pas à l'état de bacilles naissants.

»10° La lumière retarde, mais n'empêche pas la formation des spores.

»12° Avant de tuer les bacilles du charbon, la lumière en atténue la virulence ; ce charbon, atténué, n'a pas de qualités vaccinales ; les cultures suivantes lui font récupérer sa virulence. »

Il semble donc résulter de ces diverses constatations que le soleil purifie l'atmosphère non seulement en

provoquant l'absorption de l'acide carbonique et en assurant, par une sécheresse plus grande de l'air et du sol, des conditions défavorables au développement des microorganismes ; il agirait encore directement sur eux par sa lumière en atténuant leur virulence. La recommandation hygiénique d'aérer les appartements satisferait à une double condition également avantageuse : l'aération des locaux et l'ensoleillement des bactéries.

LE SOLEIL ET L'ORGANISME ANIMAL

Les animaux n'échappent pas plus que les plantes à l'action bienfaisante des radiations du soleil. L'animal, toutefois, grâce à la possibilité de se soustraire à leur influence, a moins eu à compter avec elles et l'action qu'elles exercent est en général moins directe. Son organisme paraît surtout être impressionné par les radiations obscures avec lesquelles il doit toujours compter, et la température de l'air règle mieux que les radiations directes du soleil les diverses fonctions physiologiques de l'animal.

Néanmoins, la lumière paraît avoir une certaine influence sur le développement et l'accroissement des animaux. M. Milne-Edwards a vu des œufs de grenouille se développer plus vite en pleine lumière que dans l'obscurité. M. Béclard a obtenu le même résultat sur des œufs de mouche. M. Moleschott et divers expérimentateurs ont trouvé que l'acide carbonique exhalé par les grenouilles était plus considérable à la lumière qu'à l'obscurité. Le gain d'acide carbonique dû à l'action de la lumière atteindrait 1/2 et 1/4 de la quantité normalement émise à l'obscurité.

Toutefois, les expériences tentées pour rechercher l'action de la lumière sur la nutrition des animaux et de l'homme en particulier n'ont pas donné de résultats.

On sait que certains éleveurs préfèrent entretenir une lumière affaiblie dans les étables où l'on détermine l'engraissement des animaux domestiques. Cette précaution, qui n'est pas inutile, a pour effet de réagir sur le moral de l'animal, de diminuer son excitabilité et, en diminuant la dépense de son activité extérieure, de favoriser son engraissement. C'est dans le même but que l'on recouvre assez souvent d'une corbeille ou même d'une comporte les jeunes chevreaux pour les empêcher de prendre leurs ébats et déterminer leur engraissement.

L'action spéciale exercée par les diverses couleurs du spectre n'a pas été mieux établie. Les vitrages à verre bleu, employés dans quelques porcheries, ont pour résultat de donner une lumière plus douce, plus favorable peut-être à la somnolence de l'animal. Toutefois une influence plus directe peut exister. D'après les recherches de P. Bert, les rayons jaunes et rouges sont sans action sur les chromatophores du caméléon, tandis que les rayons bleus et violets produisent rapidement un changement de coloration. Béclard a observé que, sous l'influence des rayons *verts*, un même poids de grenouilles a produit dans un même temps une quantité d'acide carbonique plus considérable que dans les rayons *rouges*. De même, en étudiant le développement des œufs de mouche sous des verres de différentes couleurs, le même expérimentateur a trouvé que les vers les plus développés correspondaient à la lumière violette.

L'effet auquel on a donné le nom d'*insolation* est ca-

ractérisé par une rougeur de la peau, due non pas à une élévation de température, mais à une insolation très vive. Les insolations peuvent se produire au printemps, alors que la température est peu élevée. Cette affection peut être déterminée par une lumière artificielle suffisamment intense, et Despretz l'a observée sur la figure de spectateurs placés dans le voisinage des charbons d'un arc électrique produit à l'aide de 600 éléments. On sait que les rayons violets dominent dans cette lumière. M. Bouchard a constaté aussi que dans les divers phénomènes déterminés sur la peau humaine par l'insolation, la plus grande part revient aux rayons bleus et violets. On s'expliquerait ainsi pourquoi les insolations sont particulièrement intenses et fréquentes dans les hautes régions des montagnes, où la lumière du soleil qui arrive jusqu'au sol est plus riche en rayons bleus et violets que celle de la plaine.

«L'effet de la lumière, écrit M. Radau dans son livre *La lumière et les climats*, est fort sensible sur le pigment des différentes parties des animaux. Le soleil hâle la peau et rougit le sang. Il est probable qu'en élevant tel animal dans les ténèbres on le rendrait chlorotique comme les plantes qui germent dans une cave. Le protée, ou salamandre aveugle des cavernes, est tout blanc. Les oiseaux de nuit ont un plumage sombre. Chez les mammifères, les oiseaux, les batraciens, la nuance du dos est plus foncée que celle du ventre. Les animaux des régions polaires sont couleur de boue et de neige; à mesure qu'on approche de l'équateur, la coloration de la faune devient de plus en plus variée et splendide; l'oiseau-mouche, dont le plumage semble tissé de lumière, est pour ainsi dire le chef-d'œuvre des rayons solaires.

»L'homme se ressent également de l'influence de la lumière. Les esquimaux blanchissent pendant leur long hiver. Dans les villes de l'Orient, il y a des quartiers dont les habitants, confinés dans des ruelles étroites, ne voient que rarement le jour : ils ont le teint blafard, un teint poivre et sel, Le teint de la population de certains quartiers de Paris s'est notablement amélioré depuis trente ans, parce qu'on a ouvert les portes de la ville au soleil. Enfin la coloration des nègres n'est certainement pas sans rapport avec le soleil des tropiques.»

Et voilà pourquoi le teint de l'agriculteur, qui passe une partie de son existence au soleil, diffère très sensiblement de celui de l'homme de bureau, qui se contente de la lumière diffuse, tamisée par les étroites ouvertures des fenêtres de son appartement.

L'intensité et la direction variable de la lumière du soleil président aux dispositions diverses adoptées pour l'éclairage de nos appartements. Une lumière trop vive fatigue la vue en exagérant les impressions lumineuses reçues par la rétine ; une lumière trop faible demande au mécanisme d'accommodation de notre œil des efforts incessants pour distinguer les détails des objets sur lesquels se portent involontairement nos regards. Il y a par suite un juste milieu dans l'intensité lumineuse que l'architecte réalise par les dimensions des portes et fenêtres déterminées par celles des appartements qu'elles éclairent. Les abat-jour, vitrines, stores, rideaux, sont autant d'artifices qui permettent de régler convenablement l'éclairage intérieur et montrent par leur généralité l'intensité de l'action exercée par la lumière sur notre organisme.

La direction de la lumière présente autant d'importance que son intensité. Un appartement qui serait

constamment éclairé par une lumière horizontale serait à peu près inhabitable. Nos regards se portent en effet de préférence sur les objets situés dans un plan voisin du niveau de notre œil, plutôt au-dessous qu'au dessus, et si les rayons de soleil pénétraient horizontalement par nos fenêtres, nous serions à chaque instant aveuglés par ces rayons directs. Heureusement pour nous, les rayons du soleil sont, pendant la plus grande partie de la journée, assez fortement inclinés sur l'horizon et ce n'est guère que vers les premières heures de la matinée et les dernières heures de la soirée qu'ils se confondent avec l'horizon. A ce moment, du reste, ils sont assez faibles et moins gênants, surtout dans les régions septentrionales, où la brume du matin ou du soir voile les rayons du soleil levant et couchant. Dans les contrées méridionales, où la lumière du soleil présente un vif éclat dans les premières et dernières heures du jour, cet éclairement horizontal peut devenir incommode. M. Emile Trélat propose de s'affranchir de ces inconvénients en adoptant des dispositions différentes pour l'éclairage des habitations suivant les régions. Dans le Nord, où le plein jour est moins blessant, l'exposition des ouvertures vitrées devrait être *est*, *ouest*, afin que les rayons solaires puissent pénétrer profondément dans les salles. Dans les contrées méridionales on éviterait les inconvénients de l'éclairage horizontal en exposant les façades principales au *nord* et au *sud;* les rayons directs du soleil ne seraient ainsi admis dans les appartements que lorsqu'ils feraient avec le sol un angle suffisant pour ne plus blesser directement nos regards.

Dans le même but, M. E. Trélat conseille d'admettre surtout la lumière diffuse par le haut des fenêtres. Le raisonnement aurait toutefois à lutter, dans ce cas, avec

un antagoniste redoutable, celui de la mode. La disposition généralement adoptée pour la draperie de nos fenêtres ou portes d'appartement est contraire aux principes d'hygiène de la vue. Nos rideaux se déploient vers le haut et s'ouvrent vers le bas ; il serait plus rationnel de les faire croiser vers le bas et s'ouvrir vers le haut. L'effet décoratif y perdrait peut-être quelque peu et il faudrait certainement avoir recours à des dispositions nouvelles, à la recherche desquelles pourrait librement se donner carrière le génie inventif de nos meilleurs tapissiers.

Mais, indépendamment de cette action directe de la lumière sur l'organisme humain, le soleil retentit énergiquement sur lui par les idées et les sensations si différentes que développent presque à son insu une lumière assombrie ou un brillant rayon de soleil. Alexandre de Humbolt fait ressortir jusqu'à l'évidence cette influence de la lumière sur l'état moral de l'homme. «Quelle puissance le ciel de la Grèce n'a-t-il pas exercée sur le génie des habitants de cette contrée! La poésie des Grecs et les chants des peuples du Nord doivent en grande partie leur caractère distinctif à la forme des plantes et des animaux, aux montagnes et aux vallées qui entouraient le poète, à l'air qui se jouait autour de lui ; et pour ne rappeler que des choses qui nous soient familières, qui ne se sent différemment affecté à l'ombre épaisse des hêtres, sur des collines couronnées de sapins solitaires et dans les prairies, où le vent murmure à travers le feuillage tremblant des bouleaux?»

L'homme de la ville, dont l'existence se déroule en partie à l'abri des bienfaits directs du soleil, n'en est que plus sensible à son action, lorsque ses occupations,

après l'avoir longtemps retenu prisonnier, lui permettent une échappée dans la campagne, et nos littérateurs les plus parisiens ne sont pas ceux qui trouvent les accents les moins vrais et les moins sentis pour décrire et admirer la lumière du ciel bleu, les tons harmonieux du coucher du soleil, l'impression particulièrement agréable que notre organisme éprouve à se chauffer le dos à ses rayons.

Mais le citadin, toutefois, ne fait pas du soleil sa préoccupation de chaque instant :

Le soleil qui se glisse entre les toits des villes,
Rayé d'ombre comme aux barreaux d'une prison,
Disperse sa grandeur et sa gloire inutiles,
Pour faire à chaque rue un étroit horizon.
. . . . . .
Le ciel paraît si haut qu'on le regarde à peine,
Ainsi qu'un océan toujours inexploré,
Dont la tempête reste invisible et lointaine,
Sans qu'un regard rêveur s'y soit aventuré.

Mme Alphonse DAUDET.

L'agriculteur, qui par la nature de ses occupations est en relation plus directe avec la lumière du soleil, est plus sensible que tout autre à cette influence des conditions physiques extérieures sur le moral.

L'agriculteur ne peut pas prendre en main sa faulx ou sa charrue, préparer le sol ou récolter ses produits, sans que le soleil l'accompagne toujours. A l'automne, il lui demande de réchauffer la terre et de faire germer ses blés; au printemps, de les faire grandir; en été, de les mûrir; en automne, il l'attend pour achever de mûrir ses raisins. L'agriculteur vit avec le soleil, et ses travaux sont pétris de sa lumière et de sa chaleur. Ecoutons le poète ami de la nature nous décrire le labourage et, au travers des expressions qu'il emploie pour

en traduire les phases successives, nous verrons comme un reflet du soleil.

La terre, qui se fend sous le soc qu'elle aiguise
En tronçons palpitants, s'amoncelle et se brise,
Et, tout en s'entr'ouvrant, fume comme une chair
Qui se fend et palpite et fume sous le fer.
En deux monceaux poudreux les ailes la renversent :
Ses racines à nu, ses herbes se dispersent;
Ses reptiles, ses vers par le soc déterrés,
Se tordent sur son sein en tronçons torturés ;
L'homme les foule aux pieds et, secouant le manche,
Enfonce plus avant le glaive qui les tranche.
Le timon plonge et tremble et déchire ses doigts;
La femme parle aux bœufs du geste et de la voix;
Les animaux, courbés sur leur jarret qui plie,
Pèsent de tout leur front sur le joug qui les lie.
Comme un cœur généreux, leurs flancs battent d'ardeur;
Ils font bondir le sol jusqu'en sa profondeur.
L'homme presse ses pas; la femme suit à peine;
Tous, au bout du sillon, arrivent hors d'haleine;
Ils s'arrêtent, le bœuf rumine et les enfants
Chassent avec la main les mouches de ses flancs.

LAMARTINE (*Jocelyn*).

Le ciel est couvert, le temps est gris et la lumière arrive avec peine jusqu'au sol. Interrogez un agriculteur sur l'état de ses récoltes ou mieux écoutez-le causer avec son voisin : — Quel vilain temps, rien ne pousse, le blé n'épiera pas si cela continue. On dit bien : « Semez des engrais chimiques. » Quelle bonne histoire. — Regardez-moi donc ce blé... Et ces vignes ; toujours ça jaunit, on dit que c'est la chlorose ; ça m'est bien égal. Et puis le mildew nous en fait de belles avec ce temps là. On nous dit de sulfater. Sulfater quoi, les sarments ? il n'y a plus de feuilles. Ah ! la belle récolte que nous aurons cette année.

Le lendemain, le ciel s'est découvert; le soleil brille

radieux depuis le matin et une lumière crue verdit les vignes et les blés. Ecoutez le même, agriculteur, le découragé de la veille :—Tout de même ces engrais chimiques, cela fait de l'effet. Les blés sont bien un peu maigres, mais ce sulfate d'ammoniaque en deux jours ça vous réveille une récolte. Tenez, voyez-moi ça si ça pousse. Et puis, au fond, les vignes ne sont pas laides cette année. Il y a bien un peu de mildew, mais avec la bouillie bordelaise et le pulvérisateur Vermorel, il n'y a rien à craindre... Pourvu que les députés n'aillent pas supprimer les droits sur les vins espagnols !

D'une manière générale, un temps brumeux assombrit nos idées, un rayon de soleil égaie et réjouit.

Il n'est pas jusqu'à la couleur des divers rayons du spectre solaire qui n'exerce une influence spéciale sur nos idées. Les couleurs claires sont gaies ; elles nous *font voir tout en rose*. Les couleurs sombres nous attristent ; *nous broyons du noir*. C'est à titre de couleur claire et aussi à raison des bienfaits exercés par la chlorophylle sur la végétation que le *vert* est généralement adopté comme le symbole de l'espérance.

Enfin les poètes de la nouvelle école symboliste et décadente associent, paraît-il, clairement dans leur esprit, le son des voyelles aux sept couleurs de l'arc-en-ciel, témoin cette citation de René Ghil.

«Colorées ainsi se prouvent à mon regard exempt d'antérieur aveuglement les cinq :

A, noir.— E, blanc.— I, bleu.—O, rouge.— U, jaune»

Arthur Rimbaud avait osé dire que l'U était de couleur verte ; mais de cet auteur, «la vision doit être revue : ne l'exigerait que l'erreur sans pitié d'avoir sous la voyelle si évidemment simple, l'U, mis une couleur composée, le vert». René Ghil (*Traité du verbe*, p. 27).

Il se manifeste certainement dans ce phénomène de l'audition colorée, qui n'est pas du reste l'apanage exclusif des âmes sensibles des poètes symbolistes contemporains, une association d'idées entre l'expression du son des voyelles et les propriétés des couleurs. Cette association d'idées est quelquefois très simple, tel l'A noir dont le son A prédomine dans l'expression de la couleur qui lui correspond, mais parfois aussi plus compliquée. Pourquoi l'O est-il rouge ? peut-être parce que le rouge est l'emblème de la gloire, et M. Ghil nous apprend que si U est le son des flûtes, O est celui des cuivres, et que les voyelles composées *oi*, *io*, *on* rendent le son des «cuivres glorieux».

Mais quel que soit l'avenir de cette poésie lumineuse, où la lumière du soleil pénètre jusque dans le son des voyelles, j'aime encore mieux la conclusion de M. D. Ordinaire, qui se demande si l'on peut même croire en Dieu dans les régions septentrionales, où le soleil est toujours voilé.

«Hélas ! j'ai bien froid, dit la Terre ! »
Et le Soleil
Répond, en clignant la paupière :
«J'ai bien sommeil ! ».

. . . . . .

Point de soleil qui leur sourie,
Point de ciel bleu,
Comment font-ils, en Picardie,
Pour croire en Dieu ?

D. ORDINAIRE.

Utilisation mécanique de la chaleur du soleil

Si l'homme, malgré son contact journalier avec le soleil, n'utilise par son organisme qu'une très faible partie de la radiation solaire, il peut, à l'aide de dispositifs spéciaux, la faire servir plus largement à la satisfaction de ses besoins.

La quantité considérable de chaleur apportée dans un faisceau de rayons de soleil relativement restreint correspond à une énergie mécanique considérable et, dès l'antiquité, on a songé à une utilisation mécanique de la chaleur du soleil. Une calorie kilogramme-degré peut, en se transformant en travail mécanique, engendrer 425 kilogrammètres. Or, 1 mètre carré de surface exposée normalement aux rayons du soleil reçoit en moyenne, pendant la plus grande partie de la durée de l'illumination diurne, 10.000 petites calories, soit 10 grandes calories kilogramme-degré par minute, correspondant à 4.250 kilogrammètres. Cela signifie que si l'on transformait en travail mécanique la radiation solaire, chaque mètre carré de surface chauffée pourrait, toutes les minutes, élever à 1 mètre de hauteur un corps pesant 4.250 kilogrammes.

Les anciens, qui savaient se servir des rayons du soleil pour rallumer, à l'aide d'un miroir concave, le feu éteint des vestales ou pour incendier, à l'aide de miroirs métalliques, les vaisseaux des flottes ennemies, paraissent avoir réalisé les premiers appareils, où une partie de la radiation solaire était transformée en travail mécanique. Héron, d'Alexandrie, décrit, dans ses *pneumatiques*,

une pompe qui élève l'eau en utilisant la chaleur des rayons du soleil. Au XVI^me^ siècle, J.-B. Porta, Salomon de Causs, Drebbel, Robert Fludd, décrivent divers mécanismes dans lesquels la chaleur solaire détermine

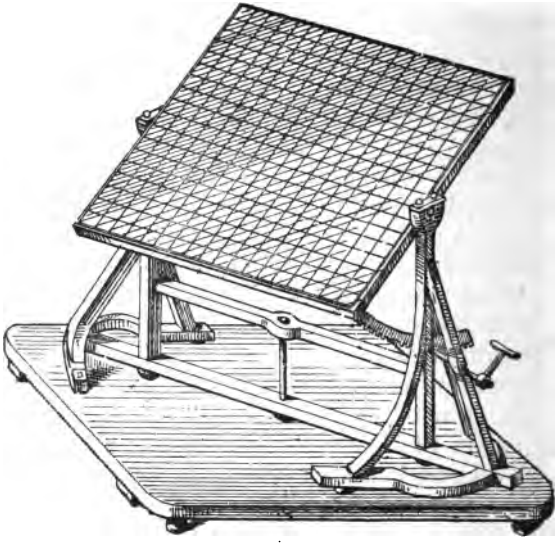


Fig. 34. — Appareil à miroirs de Buffon.

l'élévation de l'eau. Un peu plus tard, le P. Kircher signale et complète la description d'une horloge à eau, attribuée à Salomon de Causs, dans laquelle le soleil renouvelait chaque jour la provision de liquide nécessaire au fonctionnement de l'appareil.

Buffon, désireux de faire rendre aux anciens la justice qui leur était due en montrant la possibilité de reproduire les faits cités par les auteurs de l'antiquité,

fit construire un miroir de 360 glaces portées par un châssis rectangulaire de 2m67 de large sur 2m60 de haut.

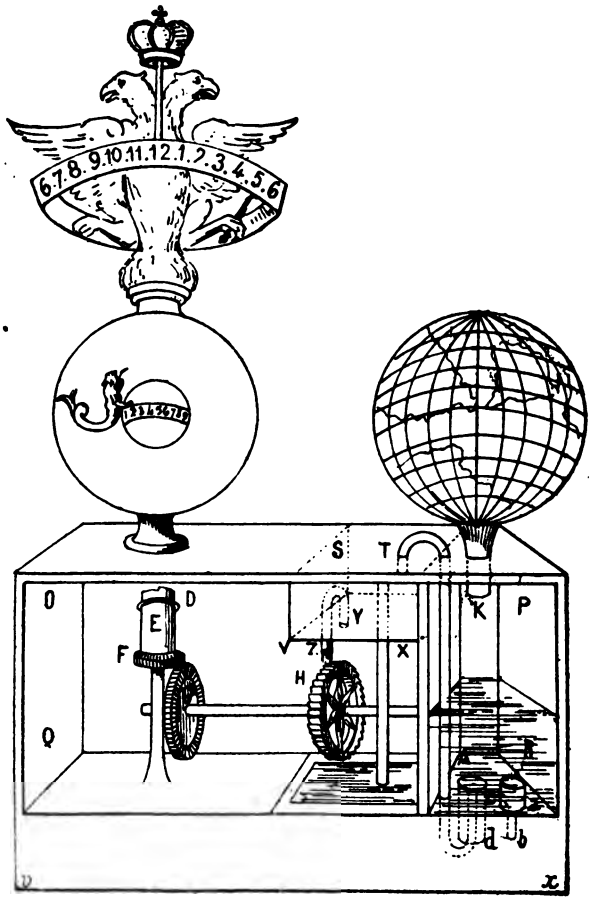


Fig. 35. — Horloge du P. Kircher mue par la chaleur du soleil.

Chaque glace était indépendante de sa voisine et, après une orientation minutieuse de chacune d'elles, on pouvait concentrer, au même point de l'espace, la lumière réfléchie par toutes ces glaces. Les effets obtenus furent surprenants. A 150 pieds de distance, Buffon, en 1747, mit le feu à une planche de sapin goudronnée.

Plus tard, Hœsen, mécanicien à Dresde, obtint des températures très élevées en concentrant les rayons solaires à l'aide de miroirs métalliques ; il put fondre

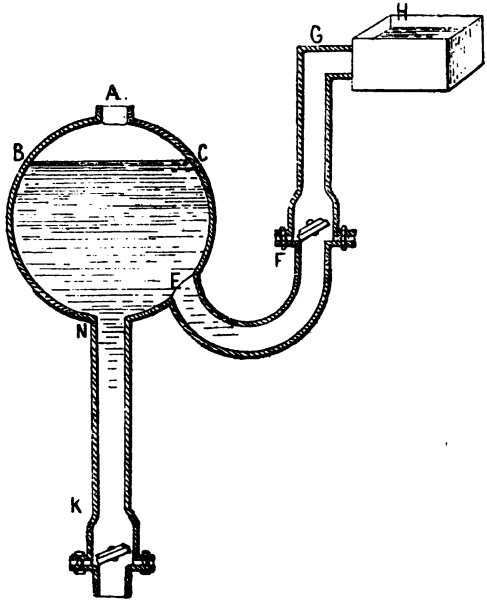


Fig. 36. — Appareil solaire de Forêt de Belidor.

aisément, en quelques secondes, divers métaux et plusieurs minéraux silicatés d'une fusion difficile.

Un ingénieur français, Forêt de Belidor, paraît avoir réalisé, vers 1784, la première pompe solaire susceptible d'une application pratique ; son appareil fut perfectionné ultérieurement par Ducarla, Deliancourt et Cagniard-Latour. La pompe solaire de M. Deliancourt

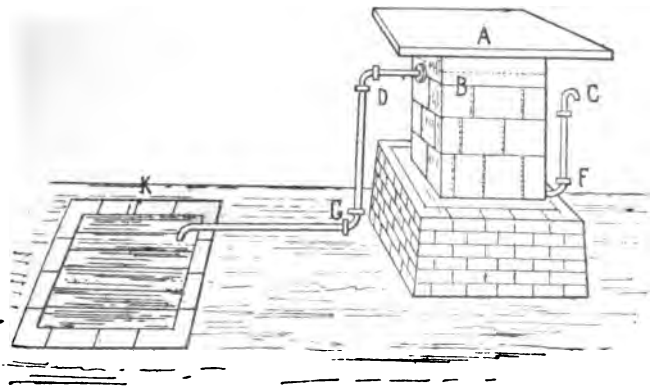


Fig. 37. — Pompe solaire de Deliancourt.

consiste en un récipient de forme rectangulaire présentant une large surface au soleil et absorbant ses rayons par la face noircie. L'air contenu dans le récipient refoule le liquide enfermé dans un corps de pompe en soulevant la soupape de refoulement. Le déversement de l'eau fait basculer un écran qui abrite le récepteur ; l'air se contracte et l'aspiration qui en résulte introduit dans le corps de pompe une nouvelle quantité de liquide puisé à un niveau inférieur ; l'écran s'efface et le même jeu se reproduit indéfiniment. M. Mouchot propose de substituer au jeu de l'écran le refroidisse-

ment périodique que l'on obtiendrait en faisant déverser l'eau élevée à la surface du récipient qui absorbe la radiation solaire.

Mais les appareils transformateurs de la radiation solaire qui paraissent appelés à un réel avenir sont ceux qui transforment la radiation en chaleur latente

Fig. 38. — Alambic solaire de M. Mouchot.

de vaporisation et déterminent, par la formation de la vapeur d'eau à haute température, la production du travail mécanique. M. Mouchot s'est plus spécialement occupé de la solution de cet intéressant problème. L'appareil solaire Mouchot est formé d'un miroir conique en plaqué d'argent réfléchissant les rayons du soleil sur une chaudière placée au centre. La chaudière, noircie à l'extérieur, est entourée d'un manchon de verre qui laisse pénétrer les rayons lumineux, empêche la sortie des rayons obscurs et prévient son re-

froidissement. Un miroir, utilisant un faisceau de soleil de 5 mètres carrés, peut porter à l'ébullition, en moins d'une heure, une chaudière contenant 30 litres et déterminer la distillation régulière de 2 litres d'eau à l'heure.

La détermination du rendement de l'appareil par la mesure de la quantité de chaleur reçue par le miroir et de la chaleur utilisée par la vaporisation de l'eau indique que l'utilisation peut atteindre 50 p. 100.

Le miroir et la chaudière sont portés sur un bâtis qui peut être orienté constamment à l'aide d'engrenages dans la direction des rayons du soleil. Il suffit du reste, en pratique, d'opérer ce réglage toutes les heures, et l'on peut dire que la conduite de l'appareil ne consomme pas de main-d'œuvre. Le seul défaut qui s'oppose au développement de ses applications dans la pratique courante est son prix de revient relativement élevé, qui résulte de l'emploi du plaqué d'argent comme surface réfléchissante du miroir.

Indépendamment du générateur de vapeur qui permet d'actionner directement un moteur à vapeur et de transformer la chaleur solaire en travail mécanique, M. Mouchot a réalisé divers appareils qui offrent une solution pratique de la chaleur à bon marché dans les pays dépourvus de combustibles ; tels sont l'alambic solaire, le four de campagne, le rôtisseur solaire.

La chaleur solaire peut également être concentrée sur le bouilleur d'un appareil de Carré, et M. Mouchot a pu réaliser la fabrication paradoxale de la glace à l'aide des rayons du soleil.

Enfin, en dirigeant le foyer du miroir sur les soudures d'une pile thermo-électrique de Clamond, on peut créer un courant électrique pratiquement utilisable

pour diverses entreprises industrielles : cuivrage, dorure, argenture, nickelage, par les procédés de l'électrolyse.

M. Ch. Tellier, partant d'un principe différent de celui du transformateur de M. Mouchot, est arrivé à des résultats pratiques fort satisfaisants. L'organe récepteur de la radiation dans l'appareil de M. Tellier est constitué par des plaques formées chacune de deux feuilles de tôle superposées, rivées ensemble sur tout leur pourtour et maintenues écartées de quelques millimètres. Cette double enveloppe est remplie d'une solution ammoniacale et les diverses lames communiquent de l'une à l'autre par un collecteur tubulaire.

Sous l'action de la radiation, la température de la solution ammoniacale ne tarde pas à s'élever et le gaz ammoniac se dégage ; il est conduit sous le piston d'un moteur à expansion de gaz, le met en mouvement et le gaz, à sa sortie du piston, est absorbé dans de l'eau froide, puis renvoyé dans l'insolateur par une canalisation spéciale.

Il s'établit ainsi une circulation continue du liquide saturé de gaz ammoniac, et la chaleur cédée par la radiation solaire trouve son équivalent dans le travail mécanique créé par le moteur. Ce travail peut être utilisé pour actionner une pompe et produire une élévation continue de l'eau pendant toute la durée de l'insolation (voir fig. 39).

A Paris, dans des conditions climatériques défavorables pour l'intensité de la radiation, un appareil Tellier, présentant une surface d'insolation de 20 mètres carrés, a élevé, pendant l'été, 3,000 litres d'eau à l'heure à une hauteur de 20 mètres. Le prix de l'appareil qui a servi à l'expérience serait de 3,000 francs.

M. Tellier, qui a bien voulu me communiquer ces divers renseignements au sujet de son *élévateur atmosphérique*, m'indique qu'il peut établir des appareils qui, tout montés, présentant un espace couvert de 70 mètres carrés, donnent 5 chevaux de force pouvant élever par heure 60 mètres cubes d'eau à 10 mètres de hauteur ; le prix de cet appareil serait de 5,000 francs.

Les plaques à double enveloppe de l'insolateur sont disposées pour constituer la toiture d'un appentis sous lequel on peut abriter le moteur ou qui peut être utilisé pour les divers besoins d'une exploitation. L'insolateur pourrait notamment servir à former la toiture d'une serre tempérée dont il contribuerait à régler la température. Pendant l'été, la radiation, utilisée sous forme de travail mécanique, ne pourrait provoquer l'échauffement de la toiture, dont la température s'élèverait au contraire pendant l'hiver si l'on fermait la conduite du moteur à cette époque de l'année où l'élévation de l'eau pour l'arrosage devient à peu près inutile.

Les radiations du soleil sont encore directement utilisées par diverses industries qui lui empruntent journellement la chaleur nécessaire à l'évaporation de certains liquides, à la dessiccation de diverses substances. Chaque kilogramme d'eau exige, en effet, pour s'évaporer à la température de 15°, environ 500 calories, et comme l'air possède une assez faible conductibilité, on voit qu'en l'absence des radiations directes du soleil, la vitesse de l'évaporation des liquides est forcément limitée par le défaut de chaleur disponible pour la formation des vapeurs.

Ce fait avait été observé depuis fort longtemps, et l'abbé Rozier écrivait, dès 1797, dans son *Dictionnaire de l'agriculture :* « Supposons que dans l'été on expose

à toute l'ardeur d'un gros soleil un vase quelconque rempli d'eau et bien abrité du vent, et que l'on place un autre vase parfaitement semblable et rempli de la même eau dans un lieu à l'ombre, mais exposé à un grand courant d'air, ce dernier évaporera plus que le premier et sera plus tôt à sec». Cette comparaison, destinée à faire ressortir l'influence moins connue de l'agitation de l'air, montre que l'on attribuait généralement une action prédominante au soleil dans le phénomène de l'évaporation.

En réalité, l'évaporation naturelle des liquides peut, dans certaines circonstances, quadrupler sous l'action des rayons du soleil. La radiation solaire favorise, en outre, l'évaporation en facilitant la diffusion des vapeurs qui l'absorbent et s'élèvent dans l'atmosphère en devenant plus légères. C'est par un mécanisme analogue que le soleil dissipe rapidement la brume qui recouvre fréquement à son lever les nappes liquides soumises à l'évaporation.

C'est en partie, grâce à l'apport de la radiation solaire, que les exploitations salines de l'Océan et de la Méditerranée peuvent livrer chaque année des quantités considérables de sel extrait par l'évaporation des eaux de la mer. La nappe d'eau évaporée atteint dans les salins du midi de la France 2 mètres à $2^{m},50$, laissant un dépôt de sel de 6 à 7 centimètres. Dans les salines du Portugal, plus favorisées du soleil, on recueille jusqu'à 10 ou 12 centimètres de sel marin.

La dessiccation industrielle des fruits, raisins, figues, pruneaux, etc., emprunte encore au soleil la chaleur nécessaire pour mener à bien cette opération. C'est afin d'utiliser le mieux possible la radiation disponible que l'on a coutume de disposer les balles de fruits que l'on

veut dessécher dans des lieux découverts, sur des murs et même sur les toits des bâtiments de ferme exposés au Midi.

Enfin, il est presque inutile de rappeler aux agriculteurs tout ce qu'ils doivent aux rayons du soleil pour le concours désintéressé qu'il leur prête en ressuyant et réchauffant utilement la terre après les longues périodes pluvieuses, en desséchant rapidement leurs fourrages sur le sol trop souvent humide des prairies, ou en achevant de mûrir leurs gerbes, dont l'excès d'humidité ne tarde pas à disparaître sous l'action de ses rayons toujours bienfaisants.

Les plantes, les animaux, les hommes et leurs inventions savent donc aujourd'hui tirer du soleil une foule de services; mais, en réfléchissant à la disproportion qui existe entre la chaleur reçue et la chaleur utilisée, on éprouve toujours un regret suivi d'un espoir. Le regret est inspiré par cette énergie perdue, par ces kilogrammètres inutilisés, dont une partie doit être créée à grand'peine par le travail musculaire de l'homme. L'espoir, qui vaut mieux que le regret, réside dans cette secrète vision de l'avenir où, plus habile encore que la chlorophylle de la plante, l'intelligence humaine aura résolu le problème de substituer au travail de la machine animale l'énergie mécanique extraite d'un rayon de soleil. Ce jour-là viendra et la légende de Prométhée ravissant à l'Olympe le feu du ciel ne sera pas une fiction; ce sera l'histoire d'une des plus belles conquêtes de l'humanité.

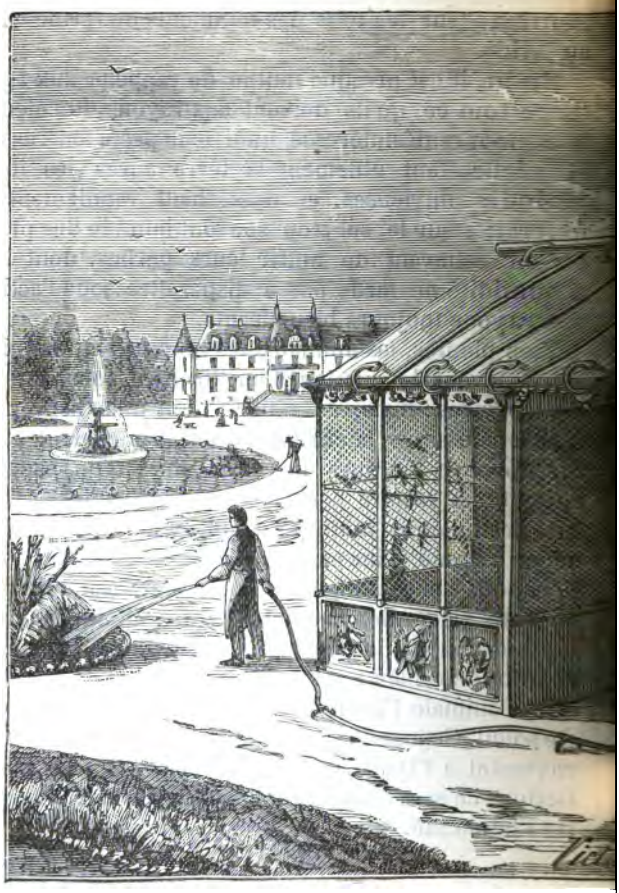
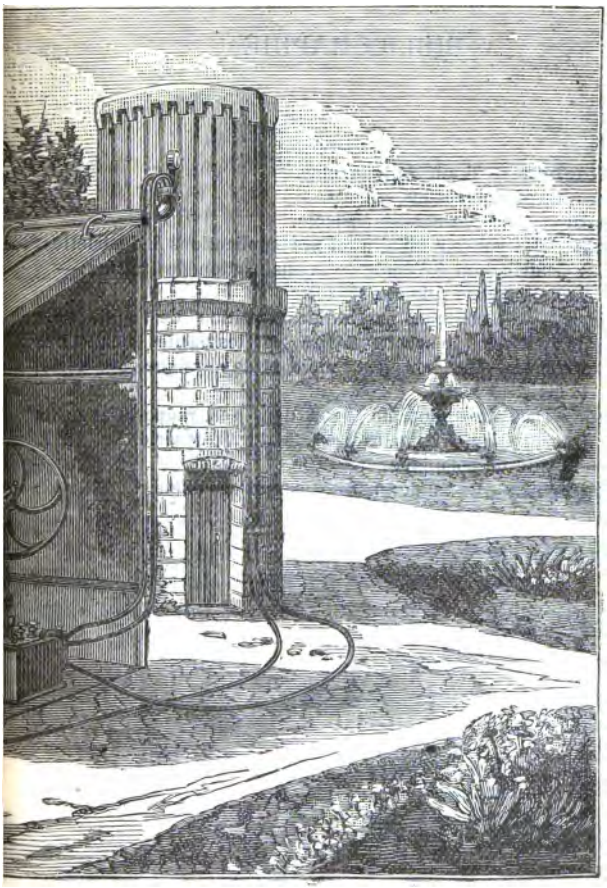


Fig. 39.— Appareil sola



niaque de M. Ch. Tellier.

BIBLIOGRAPHIE

Van Tieghem.— Traité de botanique.
Radau.— La lumière et les climats.
Dehérain.— Cours de chimie agricole.
Mouchot.— La chaleur solaire et ses applications industrielles.
Levy.— Contribution à l'étude de la maturation des raisins.— Annales agronomiques, N° 16.
Timiriazeff.— Recherches sur la décomposition de l'acide carbonique dans le spectre solaire par les parties vertes des végétaux.— Annales de chimie et de physique, 5me série, t. XII.
Vesque.— De l'absorption de l'eau dans ses rapports avec la transpiration.— Annales des sc. natur., 6me série, VI, 1877.
Sachs.— Traité de botanique.
E. Becquerel.— La lumière, ses causes et ses effets.

CHAPITRE IV

COMMENT SE MÉTAMORPHOSENT DANS LE SOL ET DANS L'AIR LES RAYONS DU SOLEIL

Chaleur et *température* sont deux termes que l'on tient pour à peu près synonymes dans le langage courant et qu'il importe cependant de bien distinguer avant d'aborder l'examen des métamorphoses d'un rayon de soleil. Une comparaison fort simple fera ressortir nettement cette distinction.

Examinons ce qui se passe dans une de ces grandes cuves cylindriques destinées à l'alimentation des chaudières de nos locomotives le long des voies ferrées. L'eau y arrive plus ou moins vite, refoulée par la conduite d'alimentation; mais pour chaque volume d'eau égal introduit dans la cuve, le niveau s'élève d'une même quantité. Lorsqu'il s'agit de chaleur et de température, la cuve cylindrique est représentée par un corps quelconque, un bloc de terre de 1 kilogramme, par exemple; la quantité de liquide versée dans le réservoir correspond à la quantité de chaleur qui pénètre dans la substance et l'élévation du niveau liquide a comme homologue l'élévation de la température. La température est donc l'échelle indicatrice qui marque, depuis

le bas jusqu'au haut de la cuve, le niveau du liquide qu'elle renferme; elle n'a donc, au fond des choses, rien de commun avec la chaleur. Mais cependant, par suite de la liaison intime qu'elle a contractée avec la chaleur, elle lui est presque indissolublement unie.

Le liquide ne peut en effet augmenter dans la cuve sans que son niveau s'élève. De même, la chaleur ne peut s'introduire dans un corps sans que sa température ne s'accroisse simultanément ; elle ne peut disparaître sans que la température s'abaisse.

Bien plus, la température comptée à partir d'un certain niveau de l'échelle donne des indications assez précises sur la nature de la chaleur renfermée dans les corps. La graduation de niveau de la cuve d'alimentation ne fournit aucun renseignement à ce sujet et, quelle que soit la nature du liquide qui l'alimente, elle n'est en rien indiquée par la hauteur à laquelle s'arrête le niveau du liquide,

Mais d'abord y a-t-il plusieurs *natures de chaleur?* Oui et non. Non, si l'on se borne à considérer la chaleur comme un mouvement, sans considérer la forme de ce mouvement. La chaleur, quel que soit le niveau de température, reste toujours un mode particulier de mouvement consistant en ondulations d'un milieu impondérable, l'*éther*, qui pénètre les substances les plus compactes, et, pour chaque kilogrammètre de cette énergie versée dans un corps déterminé, la température monte d'une quantité rigoureusement égale.

Il y a, au contraire, plusieurs natures de chaleur si l'on considère la forme des ondulations caractéristiques du mouvement calorifique. Quand la chaleur a été fortement accumulée dans un corps et que son niveau, c'est-à-dire sa température, est très élevé, les ondu-

lations caractéristiques de cette chaleur sont courtes, s'exécutent très rapidement, elles impressionnent notre œil, elles sont *lumière*, et les plus rapides modifient la substance des plaques photographiques : elles sont *radiations chimiques*. Quand, au contraire, la chaleur est en moindre quantité dans une même substance et que sa température est moins élevée, ses ondulations sont plus longues, s'exécutent plus lentement, n'affectent plus notre œil : on les appelle *chaleur obscure*.

On peut donc distinguer toute une série de chaleurs de nature différente, depuis la chaleur à *basse température* à ondulations longues et lentes jusqu'à la chaleur à *haute température* à ondulations courtes et rapides, et l'évaluation de la température d'un corps, en même temps qu'elle indique une quantité, désigne aussi la nature des radiations calorifiques qu'elle représente.

Il est néanmoins important de faire remarquer que les diverses radiations calorifiques du soleil en s'incorporant dans le sol, puis dans l'air, changent brusquement de nature. Les ondulations brèves et rapides de la chaleur de *haute température* se transforment en une quantité équivalente de chaleur de *basse température* à ondulations lentes et longues. La radiation calorifique lumineuse ou chimique devient radiation calorifique obscure et le niveau qu'elle atteint dans les corps en s'y accumulant à la surface de notre globe ne dépasse pas, en général, certaines limites assez étroites de température. Il y a eu *métamorphose*.

Entre ces limites, tous les rayons calorifiques ont à peu près même nature et les différents corps ne diffèrent guère au point de vue de la chaleur émanant du soleil que par la plus ou moins grande quantité qu'ils en renferment, et par la température plus ou moins

élevée qu'ils possèdent. De plus, les échanges de chaleur qui s'exécutent entre deux corps voisins dépendent essentiellement de la valeur relative des quantités de chaleur qu'ils renferment dans une masse égale de leur substance, c'est-à-dire, de leurs températures respectives. Lorsque les températures des deux corps ne sont pas trop distantes, la chaleur s'écoule du corps à température plus élevée vers les régions à température plus basse avec une vitesse proportionnelle à la différence de leurs températures. On voit, par suite, que, quand il s'agit de la chaleur obscure versée par le soleil dans le sol et dans l'air, la notion de température devient aussi importante que celle de chaleur et se substitue commodément à elle dans l'expression des phénomènes calorifiques. Au lieu de dire que le sol est chaud, on dit que sa température est élevée; et si l'air se refroidit, on dit que sa température s'abaisse.

DIVERS MODES DE PROPAGATION DE LA CHALEUR

Les corps portés à des températures différentes emploient trois méthodes essentielles pour échanger leur chaleur intérieure; ils tendent sans cesse à égaliser leurs températures en employant les méthodes de transport par *rayonnement*, par *conductibilité*, par *courants*.

Le transport de chaleur par *rayonnement* est celui que nous avons vu utiliser par le soleil pour nous faire participer à sa température élevée. Les vibrations qui constituent les radiations calorifiques obscures voyagent à grande distance en se propageant par l'intermédiaire du milieu universel qui remplit l'air et la ma-

tière des corps. La chaleur peut ainsi se transporter d'un corps à un autre en traversant un corps intermédiaire. Tous les corps ne se laissent pas toutefois également bien traverser ; il existe des corps *opaques* pour la chaleur comme pour la lumière : on les appelle des corps *athermanes*, et ils limitent considérablement la vitesse des échanges que réaliseraient les corps entre eux par voie de rayonnement. Les corps *transparents* pour la chaleur sont dits *diathermanes ;* cette transparence n'est jamais absolue.

L'échange de température par *conductibilité* est un procédé aussi général que celui du rayonnement. Tout corps chaud placé immédiatement au contact d'un corps froid lui cède de proche en proche sa chaleur. Ce procédé, qui paraît assez voisin du précédent, en diffère en ce que l'échange de température entre deux points voisins mis brusquement au contact suppose toujours, lorsqu'il y a transport par conductibilité, une élévation ou variation de température dans les points intermédiaires. La chaleur se communique de proche en proche en élevant progressivement la température des parties intermédiaires entre le point chaud et le point froid. La vitesse de communication de la chaleur par ce procédé n'a rien de commun avec la transparence pour la chaleur des diverses substances. Le cuivre, qui transmet très bien la chaleur par conductibilité, est complètement opaque pour la transmission par rayonnement. Les *coefficients* ou indices *de conductibilité* sont complètement indépendants des coefficients de transparence pour la chaleur.

Le troisième procédé de transport de la chaleur par *courants* est réalisé dans les corps liquides et gazeux. Lorsqu'il existe à la partie inférieure d'un liquide ou

d'un gaz un point à température plus élevée, la densité de ces substances diminue en général et un courant ascensionnel se produit. Les parties chaudes inférieures vont se mélanger avec les parties froides supérieures. Les strates du liquide d'égale température, primitivement horizontales, s'incurvent dans le voisinage du point chaud ; elles deviennent convexes avant que le courant ascensionnel se manifeste ; on a donné à ces courants de transport le nom de courants de convection, et au transport spécial de chaleur celui de transport par convection. Les liquides et les gaz, qui conduisent en général mal la chaleur, compensent largement cette infériorité naturelle en réalisant des échanges de température par *courants de convection*. C'est par ce procédé, notamment, que les océans surchauffés de l'équateur transmettent une partie de leur chaleur aux mers des régions septentrionales.

MESURE DE LA TEMPÉRATURE

Mais comment mesurer la température du sol et de l'air ? Depuis fort longtemps, on savait que lorsque la quantité de chaleur contenue dans un corps solide, liquide ou gazeux, augmente, c'est-à-dire que sa température s'élève ; ce corps subit en général un accroissement de volume. Il n'en fallait pas davantage pour songer à réaliser un instrument indicateur des variations de température et créer le *thermomètre*.

On attribue à Galilée, vers 1597, l'invention d'un thermomètre à air avec index de liquide. Mais le véritable inventeur serait Drebbel, cultivateur hollandais,

qui construisit, au commencement du XVII[e] siècle, un thermomètre à air avec index d'acide azotique.

Les académiciens de Florence construisirent le premier thermomètre à liquide et à alcool coloré, et fixèrent le zéro de son échelle à la température à peu près invariable des caves de leur observatoire. Au commencement du XVIII[e] siècle, le thermomètre était encore une nouveauté scientifique, et l'auteur d'un estimable ouvrage «*sur les particularités de l'histoire naturelle qui ont paru les plus propres à rendre les jeunes gens curieux et à leur former l'esprit*» décrit le thermomètre en l'associant au microscope et aux autres *inventions des Modernes*. Voici d'ailleurs la description qu'il donne de l'instrument:

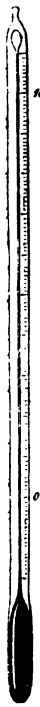


Fig. 40. — Thermomètre centigrade.

«Le thermomètre n'est autre chose qu'une bouteille surmontée d'un tuyau ou d'un cou très long et très délié, dont la largeur intérieure est vingt, trente ou tant de fois qu'on le juge à propos plus étroite que le corps de la bouteille, en sorte que, si l'on ferme le tuyau à la lampe d'un émailleur après avoir empli la bouteille et une partie du cou avec de l'esprit de vin coloré, la liqueur ne puisse s'enfler et monter d'un point dans le corps de la bouteille sans monter de vingt ou trente points dans le petit tuyau. L'esprit de vin est plus propre pour cet effet que toute autre liqueur, parce qu'il ne se gèle pas.»

A cette description, vous aurez certainement reconnu l'ancêtre de nos thermomètres contemporains. La bouteille est devenue le

réservoir thermométrique, et le tuyau qui la surmonte la *tige graduée* sur laquelle se lisent les températures. Mais ce que l'on a plus de peine à reconnaître en poursuivant la lecture du même chapitre, c'est l'avenir de cet instrument qui, aujourd'hui, est presque aussi indispensable à l'agriculteur que sa charrue, que son couteau de poche,— j'allais dire que son porte-monnaie. L'auteur que l'on vient de citer fait cependant prévoir son heureuse destinée.

«L'usage du thermomètre, écrivait-il, n'est pas un amusement de pure curiosité. Il sert à déterminer le degré de chaleur qu'on veut donner à l'air d'une chambre, à l'eau des étuves, à une serre chaude, soit qu'on veuille hâter nos plantes communes, soit qu'on y veuille conserver des plantes étrangères. Cet instrument dirige une infinité d'expériences où il faut juger exactement du degré de chaleur de ce qui fermente et du degré de froid de ce qu'on a congelé artificiellement. C'est enfin tout particulièrement par la comparaison des thermomètres d'une construction uniforme, placés en différents pays, qu'on peut tirer des inductions propres à perfectionner la connaissance de l'air.»

Toutefois, cette uniformité de construction n'était que bien imparfaitement réalisée au commencement du XVIII[e] siècle, et l'auteur ajoute «qu'il est bien sensible que les thermomètres de deux villes ou de deux maisons différentes ne parleront point le même langage et qu'on ne saurait les comparer ».

Dès le milieu du XVII[e] siècle, Robert Boyle avait proposé de fixer le zéro à la température de la glace fondante, et Renaldini, en 1694, avait gradué un thermomètre avec de la glace fondante et des mélanges déterminés d'eau et de glace. Newton, en 1701, adopta plusieurs points fixes : la température de la glace fondante, celle

du sang humain, celle de la fusion de la cire et celle de l'eau bouillante.

Fahrenheit fut le premier à employer, vers 1714, une graduation bien définie ; il fixa le zéro à la température d'un mélange de glace et de sel déterminé ; le 32^{me} degré correspondait à la glace fondante et le 212^{me} à la température de l'eau bouillante. Il substitua, en même temps, le mercure à l'alcool comme liquide thermométrique.

Réaumur, en 1730, adopta pour liquide un mélange d'alcool et d'eau qui se dilatait de 80/1000 de son volume primitif en passant de la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante. Chaque dilatation de 1/1000 du volume liquide fut prise comme correspondant à l'unité de degré de température. En conséquence, il marqua 0 et 80 aux points extrêmes de son échelle et la divisa en 80 degrés égaux de température.

Celsius, d'Upsal, fit adopter, dès 1742, le *thermomètre centigrade*, dans lequel l'intervalle de température entre la glace fondante et le point d'ébullition de l'eau est divisé en 100 parties égales; et plus tard, quand les travaux de Dalton et Petit eurent appris que pour chaque degré de température le volume d'un gaz augmentait d'une même quantité ou que, si l'on empêchait le volume de s'accroître, la pression intérieure s'élevait d'un même nombre d'unités, le degré du thermomètre centigrade fut rigoureusement défini par la centième partie de l'augmentation de pression de l'air échauffé à volume constant depuis la température de la glace jusqu'à celle de l'eau bouillante.

Ces diverses étapes réalisées dans le perfectionnement de la graduation du thermomètre ont laissé des

traces dans la survivance de trois échelles thermométriques distinctes encore employées de nos jours. Les Anglais et les Américains expriment en général leurs températures en *degrés Fahrenheit*, et les *échelles Réaumur et centigrades* sont encore employées concurremment en France dans la graduation de certains thermomètres. Les thermomètres gradués, en vue d'applications agricoles dès le siècle dernier, conservent aujourd'hui encore la double graduation. Tels sont les thermomètres pour serres et pour magnaneries. Un thermomètre construit, à la fin du siècle dernier, par Sormany, constructeur de la galerie du Palais-Royal, fixe à 6 degrés Réaumur la température des orangeries; à 15° R. celle des serres chaudes; à 19° R. celle des éducations de vers à soie. Une atmosphère tempérée correspondait à 10° Réaumur.

On peut, au reste, trouver dans le commerce des thermomètres avec échelle multiple, donnant simultanément l'indication des températures en degrés centigrades, Réaumur et Fahrenheit. M. Eon a construit pour les besoins de l'horticulture un thermomètre présentant cette disposition, auquel il a donné le nom de *thermomètre comparatif*.

Il est donc utile, soit pour l'intelligence des textes agricoles du siècle dernier, soit pour la comparaison des données fournies par les ouvrages étrangers qui emploient la notation Fahrenheit ou Réaumur, de pouvoir facilement trouver la correspondance des diverses échelles.

Les règles pratiques à suivre sont les suivantes : Pour trouver à combien de degrés centigrades correspond une température donnée en degrés Fahrenheit,

il faut : 1° retrancher 32° à la lecture du Fahrenheit et 2° multiplier le reste par 100/180 ou par 5/9.

Exemple : On demande à quelle température en degrés centigrades correspondent 110° Fahrenheit ; on a, en appliquant la règle ci-dessus, $110-32=78°$ et $78° \times 5/9 = 43°,4$ centigrades.

Pour trouver la correspondance des degrés Réaumur avec les centigrades, il suffit de multiplier les premiers par 5/4.

Exemple : 15° Réaumur valent $5/4 \times 15° = 18°,7$ centigrades.

Les tableaux suivants donnent la concordance des trois graduations pour les températures les plus usuelles et dispensent de tout calcul :

Conversion des degrés Réaumur en degrés centigrades

0°R. = 0°C. 80°R. = 100°C.

Réaumur	Centigr.	Réaumur	Centigr.	Réaumur	Centigr.
1	1.25	16	20.00	31	38.75
2	2.50	17	21.25	32	40.00
3	3.75	18	22.50	33	41.25
4	5.00	19	23.75	34	42.50
5	6.25	20	25.00	35	43.75
6	7.50	21	26.25	36	45.00
7	8.75	22	27.50	37	46.25
8	10.00	23	28.75	38	47.50
9	11.25	24	30.00	39	48.75
10	12.50	25	31.25	40	50.00
11	13.75	26	32.50	41	51.25
12	15.00	27	33.75	42	52.50
13	16.25	28	35.00	43	53.75
14	17.50	29	36.25	44	55.00
15	18.75	30	37.50	45	56.25

Conversion des degrés Fahrenheit en degrés centigrade

0°F. = 17°78 C. 32°F. = 0°C. 212°F. = 100°C.

Fahrenheit	Centigr.	Fahrenheit	Centigr.	Fahrenheit	Centigr.
2	—16.67	42	5.56	82	27.78
4	—15.56	44	6.67	84	28.89
6	—14.44	46	7.78	86	30.00
8	—13.33	48	8.89	88	31.11
10	—12.22	50	10.00	90	32.22
12	—11.11	52	11.11	92	33.33
14	—10.00	54	12.22	94	34.44
16	—8.89	56	13.33	96	35.56
18	—7.78	58	14.44	98	36.67
20	—6.67	60	15.56	100	37.78
22	—5.56	62	16.67	102	38.89
24	—4.44	64	17.78	104	40.00
26	—3.33	66	18.89	106	41.11
28	—2.22	68	20.00	108	42.22
30	—1.11	70	21.11	110	43.33
32	—0	72	22.22	112	44.44
34	+1.11	74	23.33	114	45.56
36	2.22	76	24.44	116	46.67
38	3 33	78	25.56	118	47.78
40	4.44	80	26.67	120	48.89

Les thermomètres que l'on emploie pour les observations usuelles sont à alcool ou à mercure. Chacun d'eux a ses avantages et ses inconvénients, et, comme leur prix de revient est à peu près le même, il est utile d'être renseigné à ce sujet pour faire son choix.

Avantages des thermomètres à alcool. — 1° Ils ne gèlent pas et on peut mesurer avec eux les plus basses températures que l'air puisse posséder à la surface du globe ; 2° la dilatation de l'alcool étant plus grande que celle du mercure, on peut donner à la tige capillaire graduée un plus gros diamètre et les lectures sont plus

faciles; 3° on peut colorer l'alcool en rouge et les indications du thermomètre peuvent alors être lues à distance.

Avantages des thermomètres à mercure. — 1° On peut porter le mercure jusqu'à 357° sans qu'il entre en ébullition et, par conséquent, mesurer avec les thermomètres à mercure des températures assez élevées; 2° les dilatations du mercure sont très sensiblement proportionnelles à la température; il suffit donc que le tube capillaire ait un diamètre constant et que les divisions aient une même longueur pour avoir un thermomètre très exact; 3° la surface brillante du mercure forme miroir, elle réfléchit les radiations diffuses sans les absorber et les thermomètres à mercure donnent, avec plus d'exactitude, la température vraie de l'air.

Inconvénients des thermomètres à alcool. — 1° L'alcool entrant en ébullition vers 80°, ces thermomètres ne peuvent mesurer les températures voisines du point d'ébullition de l'eau. De plus, bien avant cette température, l'alcool émet des vapeurs assez abondantes, il se produit une distillation partielle du liquide qui fausse les lectures et qui, en se condensant dans la tige à différents niveaux, détermine parfois la formation d'index liquides avec intercalation de bulles d'air.

2° La dilatation de l'alcool n'est pas exactement proportionnelle à la température. Un litre d'alcool se dilate de 10cc6, en passant de 0° à 10°, et de 12cc en passant de 40° à 50°. Les degrés compris entre 40° et 50° doivent donc être plus longs que ceux de 0° à 10°, et, comme dans la fabrication courante des thermomètres, on ne s'astreint pas toujours à l'exécution de ce détail

de construction, il en résulte souvent une inexactitude de graduation.

3° Les thermomètres à alcool coloré, mis en observation en plein air et à l'ombre, indiquent toujours des températures trop élevées, parce qu'ils ne réfléchissent pas, mais absorbent au passage les radiations diffuses qui sont rayonnées par les corps voisins. Les thermomètres à alcool incolore, exposés à la lumière, finissent par se colorer légèrement et présentent en partie les inconvénients des thermomètres à alcool coloré.

Inconvénients des thermomètres à mercure.— 1° Le mercure gèle vers 40° au-dessous de zéro. Mais ni l'air, ni le sol, ni nos réactions usuelles n'atteignent cette température sous nos climats tempérés. L'inconvénient est donc très faible.

2° Quand la tige capillaire est très fine, les lectures sont parfois difficiles, surtout à distance, parce que la surface brillante du mercure ne tranche pas sur celle du verre.

Il résulte de cette enquête sur les qualités et les défauts des deux genres de thermomètres que les thermomètres à mercure sont, en général, préférables aux thermomètres à alcool. L'avantage essentiel consiste en ce que, avec un même thermomètre à mercure, gradué de —20° à +100°, on peut mesurer toutes les températures qui se réalisent dans la pratique agricole. Rien n'empêche, en outre, d'avoir un ou plusieurs thermomètres à alcool coloré à bon marché, que l'on compare avec le thermomètre à mercure et que l'on observe en se précautionnant contre les erreurs dues à l'absortion des radiations diffuses. Il suffit en pratique, pour cela, de protéger le réservoir à quelques millimètres de distance

par un étui demi-cylindrique en laiton ouvert aux deux bouts et appliqué sur la planchette qui supporte le réservoir. L'air peut ainsi circuler autour du réservoir, les radiations diffuses n'arrivent pas jusqu'à lui et, chose aussi importante, l'étui de laiton le protège contre les chocs accidentels qui pourraient déterminer sa rupture.

Avant de faire l'acquisition d'un thermomètre à alcool ou à mercure, il est bon de l'examiner sérieusement et de vérifier s'il présente les détails de construction suivants qui sont une garantie de sa lecture facile, de sa précision et de la durée de ses services.

Le *réservoir thermométrique* doit être cylindrique et allongé, afin que le thermomètre se mette rapidement en équilibre de température avec le milieu où il est plongé. On doit s'assurer qu'il a été soufflé et étiré bien régulièrement et qu'il ne présente ni défauts, ni soufflures.

Les *divisions et la chiffraison* de la tige doivent être nettement gravées et bien apparentes. Il est bon aussi de vérifier par une comparaison sommaire avec les thermomètres voisins qu'il n'y a pas eu de grossière erreur de numérotation, telle que le chiffre 10° ou 5° marqué aux lieu et place du 0°.

Enfin la tige graduée doit présenter à son sommet et à l'intérieur une petite cavité en relation avec le canal capillaire que l'on désigne sous le nom de *chambre à air*. Cette chambre à air est nécessaire pour la vérification et la remise en état du thermomètre.

Le thermomètre étant choisi et payé, il semble, au premier abord, que toute vérification ultérieure de son exactitude soit faite en pure perte et ne doive amener que des déceptions en confirmant une fois de plus son

propriétaire dans cette idée généralement admise «qu la perfection n'est pas de ce monde»; mais qui n'aim pas quelquefois à perdre son temps, surtout quand i peut en résulter une indication utile. Si, d'ailleurs, o ne recherche pas une précision absolue, on pourra s fier à l'habileté de l'opticien qui a livré le thermomètr et qui, si l'instrument a quelque valeur, l'a signé de soi nom, en y gravant aussi le lieu et la date de sa cons truction.

Si, au contraire, on ne veut se fier qu'à soi-même, — et je connais beaucoup d'agriculteurs qui pensent ainsi — on pourra procéder à la vérification du thermomètre.

Cette vérification comprend deux opérations: la vérification du calibrage et la vérification des points fixes. Il n'y a lieu de la faire subir qu'aux seuls thermomètres à mercure qui sont susceptibles de précision et qui se prêtent, seuls, aux différentes phases de l'opération.

1° *Vérification du calibrage.* — Elle a pour but de vérifier que tous les degrés inscrits sur la tige ont bien même volume, ce qui sera vrai si un même index de mercure, promené dans les différentes portions de la tige graduée, occupe bien partout un même nombre de divisions. Pour exécuter cette vérification, on opérera de la manière suivante : On chauffe un peu le réservoir du thermomètre de manière à ce que le mercure occupe dans la tige, depuis la naissance du réservoir, une longueur de 6 à 8 centimètres. On saisit alors la tige dans le voisinage du réservoir entre le pouce et l'index; le réservoir dirigé vers le haut, on se place devant une table, on étend le bras en avant et on donne un coup sec sur le rebord de la table en le frappant de la paume

de la main qui tient le thermomètre. Il en résulte un à-coup sans danger pour le thermomètre et la colonne de mercure se brise au niveau du réservoir; un index brillant court dans la tige et descend vers la chambre à air. Avant qu'il ne l'ait atteint, on redresse le thermomètre, puis on le dépose horizontalement. Il suffit alors de l'incliner dans un sens ou dans l'autre pour faire voyager l'index tout le long de la tige et vérifier son calibrage. Si l'index couvrait un même nombre de degrés dans la plus grande partie de la tige graduée, on pourrait compter sur la précision de l'instrument pour cette portion de la tige; et si un écart se manifestait dans une région déterminée, on serait averti qu'il ne faut pas rechercher la perfection absolue dans l'évaluation des températures qui y correspondent.

2° *Vérification des points fixes.* — Si le thermomètre est exact, il doit marquer 0° dans la glace fondante et 100° dans l'eau bouillante.

La *vérification du 0°* est facile à obtenir en hiver, lorsqu'on a de la glace à sa disposition. Il suffit de la briser en menus fragments, d'en remplir un de ces vases percés de trous qui servent à la fabrication des fromages et d'introduire au centre de la masse de glace le réservoir du thermomètre. L'eau de fusion s'élimine au fur et à mesure par les orifices du récipient, et, au bout de 10 minutes à un quart d'heure, on dégarnit la tige avec précaution et l'on vérifie la position du zéro.

La *vérification du point 100°* peut être faite approximativement en plongeant le réservoir du thermomètre dans un vase plein d'eau de pluie portée à l'ébullition. Il serait préférable de plonger le réservoir dans une enceinte de vapeur d'eau, mais il est difficile de réaliser

ces conditions sans un appareil spécial. Il vaut mieux s'en tenir à la simple vérification faite par l'immersion du réservoir dans l'eau portée à l'ébullition dans un récipient un peu grand. Il convient de se rappeler aussi que l'eau ne bout à 100° qui si la pression est de 760 millimètres de mercure. Une baisse de $27^{m}/^{m}$ dans la pression abaisse de 1° la température d'ébullition. A la pression de $733^{m}/^{m}$, l'eau bout à 99°; à la pression de $787^{m}/^{m}$, elle bout à 101°. Il est facile, d'après cela, de connaître la température que doit indiquer dans l'eau bouillante le thermomètre pour être exact, quand on connaît la valeur simultanée de la pression barométrique.

La vérification des points 0° et 100° conduit aux conclusions suivantes :

1° Les points 0° et 100° sont bien à leur place : le thermomètre est parfait.

2° Les points 0° et 100° ne tombent pas à leur place, mais l'intervalle de la tige compris entre leur position comprend exactement 100 degrés. Cela signifie que toutes les lectures sont trop hautes ou trop basses d'une même quantité. Si le point marqué dans la glace fondante est au-dessus du zéro gravé sur l'instrument, de 0°,6, par exemple, il faudra *retrancher* cette correction 0°,6 à toutes les lectures. Si la discordance existait en sens inverse, il faudrait *ajouter* cette même correction.

3° Les points 0° et 100° ne sont pas à leur place et comprennent de plus un nombre de divisions différant de 100°. Dans ce cas, la correction n'est pas réalisable en pratique et si elle est trop importante, l'instrument est inutilisable. Si, toutefois, l'un des points fixes, le 0° ou le 100°, est à sa place, cela signifie que chaque degré est trop court ou trop long d'une même quantité qui

sera donnée par comparaison. Si, par exemple, le 0° est à sa place et que le point d'ébullition de l'eau tombe à 98°, il s'ensuit qu'il y a une erreur de 2° sur 100° et que chaque degré gravé sur la tige est trop grand de 2/100 de degré. Il faudra donc retrancher cette quantité de chaque degré compris depuis le zéro jusqu'à la lecture. Si le thermomètre indique 15°, la température vraie sera $15° - 15 \times 0°,02 = 15° - 0°,3 = 14°,7$. Comme l'écart des divisions comprises entre le 0° et le point 100° ne diffère pas en général de plus de 1°, on voit que la correction sera faible tant que les lectures porteront sur les températures voisines de 0°. Le thermomètre pourra parfaitement être utilisé, même sans effectuer de correction pour les observations usuelles entre 0° et 30°. L'erreur maxima entre ces limites n'atteindra pas un tiers de degré.

La vérification des thermomètres à alcool ne peut s'opérer par la même méthode; la régularité du calibrage du tube capillaire ne peut se vérifier après construction, et la détermination du point 100° est impossible. On procède alors par comparaison. A cet effet, on remplira d'eau un verre ordinaire et on y plongera le thermomètre à alcool en compagnie d'un thermomètre à mercure préalablement vérifié. Pour assurer la constance de la température et éviter l'action des radiations diffuses pendant la comparaison, on plongera le verre d'eau dans un second vase en terre opaque et mauvais conducteur que l'on aura rempli de sable complètement imbibé d'eau. Il suffit que ce dispositif soit réalisé quelques heures avant l'opération pour obtenir une température complètement invariable pendant les 10 minutes nécessaires à la comparaison des deux instruments. Les deux thermomètres doivent en effet rester immergés

côte à côte pendant 10 minutes environ avant de les lire l'un et l'autre et de déterminer la correction à apporter aux lectures du thermomètre à alcool pour une température déterminée. En répétant cette opération pour trois époques de l'année où la température de l'air varie entre les limites des températures à observer, on obtiendra la valeur de la correction à apporter en chaque point de l'échelle thermométrique. Mais une seule comparaison suffit en général, l'erreur étant assez souvent constante à toutes les températures lues sur la tige de l'instrument.

Indépendamment des thermomètres ordinaires à alcool ou à mercure, il est fort commode d'avoir recours à des thermomètres spéciaux qui non seulement indiquent la température à un moment quelconque, mais encore laissent une trace de la plus haute ou de la plus basse température qui s'est produite pendant la journée. Ce sont les *thermomètres à maxima* ou *à minima*.

Thermomètres à maxima. — On peut assez simplement transformer soi-même un thermomètre ordinaire à mercure en thermomètre à maxima. On commence par opérer comme si l'on voulait vérifier le calibrage ; on détache un index de 6 à 8 centimètres, mais au lieu de l'arrêter dans l'intervalle de la tige, on le fait arriver et pénétrer dans la chambre à air. On redresse alors l'instrument, et l'index qui s'est rassemblé dans la chambre sous forme d'un globule métallique reste adhérent à la paroi. On chauffe alors avec précaution le réservoir du thermomètre jusqu'à ce que le mercure se soit élevé dans la tige jusqu'à 5 ou 6 centimètres de la chambre à air. On donne alors une secousse pour forcer le globule métallique à se détacher et à rentrer dans la

tige. Celui-ci, qui représente l'index primitif, emprisonne entre lui et le mercure restant dans le thermomètre une colonne d'air raréfié de 5 à 6 centimètres qui se réduit en général à moins de 1 $^{m}/^{m}$ lorsqu'elle est comprimée par le poids de l'index.

Quand le thermomètre a été refroidi jusqu'à une température inférieure à celle que l'on veut observer, il suffit de le déposer horizontalement pour obtenir le résultat cherché. Pendant que la température s'élève, l'index avance progressivement, refoulé par le petit index d'air minuscule, et quand la température cesse de monter, il reste en place, et le petit index d'air reprend son volume initial et peut même le dépasser sans déterminer la mise en marche et le retrait de l'index dont l'extrémité antérieure indique la plus haute température qui a été atteinte. Si le petit index d'air avait une longueur appréciable, il faudrait en tenir compte, déterminer la fraction de degré qu'elle représente et retrancher cette valeur de la lecture donnée par la position de l'extrémité antérieure de l'index de mercure.

On trouve aussi dans le commerce des thermomètres à maxima construits spécialement dans ce but. Les plus recommandables sont le thermomètre maxima de Négretti et le thermomètre maxima à aiguille de M. Baudin.

Fig. 41. — Thermomètre à maxima à bulle d'air.

Le thermomètre maxima de Négretti présente dans la partie inférieure de la tige un étranglement obtenu par le

constructeur en introduisant dans cette partie de la tige un petit index en émail et en l'y retenant par une courbure de la tige. Lorsque la température s'élève, la pression du mercure qui se dilate dans le réservoir oblige celui-ci à filtrer au fur et à mesure par l'étranglement. Mais aussitôt que la température s'abaisse, la colonne de mercure introduite dans la tige se rompt au niveau de l'étranglement et l'extrémité de celle-ci reste en face de la plus haute température réalisée.

Le thermomètre à aiguille de M. Baudin présente à l'intérieur du réservoir une mince aiguille de verre soudée à sa partie inférieure dont l'extrémité vient obturer à peu près complètement l'origine du canal capillaire. Le fonctionnement est le même que celui du précédent.

Pour remettre les thermomètres à maxima en état de donner une nouvelle indication, il faut évidemment après chaque lecture faire rentrer partiellement l'index dans le réservoir. Ce résultat s'obtient en redressant le thermomètre verticalement et en lui imprimant quelques secousses. Si l'instrument est bien construit — et l'on peut s'en assurer avant d'en faire l'acquisition — le mercure doit rentrer par son seul poids, lorsqu'on redresse le thermomètre verticalement, sans qu'il soit besoin de lui imprimer aucune secousse. Pendant l'observation, le thermomètre doit être placé horizontalement ou, mieux, présenter une très légère inclinaison, l'extrémité de la tige graduée étant à 10^{mm}, à 15^{mm} environ au-dessus de l'extrémité du réservoir. Cette légère inclinaison a pour effet d'empêcher le déplacement accidentel en avant de l'index pendant sa marche ascendante qui pourrait être déterminé par une trépidation si la tige était tout à fait horizontale.

Thermomètres à minima. — Le thermomètre à minima le plus employé est celui de Rutherford. C'est un ther-

Fig. 42.— Thermomètre à maxima de Négretti.

Fig. 43.— Thermomètre à maxima à aiguille,

Fig. 44.— Thermomètre à minima de Rutherford

momètre à alcool incolore renfermant un petit index en émail qui peut glisser facilement à l'intérieur de la tige

graduée. On commence par incliner l'instrument en dirigeant le réservoir vers le haut, jusqu'à ce que l'index arrive à l'extrémité de la colonne d'alcool engagée dans la tige. Il vient buter contre cette extrémité, mais ne peut en sortir à moins d'une secousse très violente, parce qu'il devrait déformer pour cela la couche terminale concave de l'alcool qui mouille par capillarité les parois du tube. L'index est ainsi emprisonné par la pellicule superficielle du liquide comme par une membrane tendue à la surface du liquide et qui se déplacerait avec lui ; il redescend par suite vers le réservoir aussi longtemps que la température s'abaisse. Si elle remonte dans l'intervalle des observations, l'index reste en place, l'alcool trouvant issue entre lui et les parois du canal intérieur. L'extrémité antérieure de l'index, celle tournée vers la chambre à air, donne par sa position l'indication de la température la plus basse qui a impressionné le thermomètre.

Il est utile de s'assurer, avant de faire l'acquisition de l'instrument, que l'index glisse avec facilité dans le tube et que, quand l'alcool se retire vers le réservoir, il entraîne facilement l'index à sa suite. Il convient aussi de donner au thermomètre, pendant l'observation, une légère inclinaison sur l'horizontale qui facilite le retrait de l'index.

Thermomètres conjugués à maxima et à minima. — Le thermomètre à maxima et à minima de Six et Bellani, encore appelé *thermométrographe*, présente l'avantage de réunir dans un seul instrument l'indication du maximum et du minimum de température. Ce thermomètre consiste en un réservoir cylindrique, allongé, rempli d'alcool, se continuant vers le bas par une tige capil-

laire qui se recourbe deux fois à angle droit et se relève parallèlement au réservoir pour se terminer par une chambre à air assez vaste, partiellement remplie d'alcool. La moitié environ de la tige graduée, y compris la courbure inférieure, est remplie d'un long index de mercure, et dans chaque branche de la tige graduée, soit dans celle qui communique avec le réservoir, soit dans celle qui se continue par la chambre à air, est déposé au-dessus du mercure un index mobile en émail, dont l'axe est constitué par un mince fil de fer. Cet index est, en outre, disposé pour courir à frottement dans le tube capillaire et se maintenir au point où il aura été amené. A cet effet, il porte latéralement un mince fil de verre qui forme ressort et l'applique contre les parois du canal capillaire.

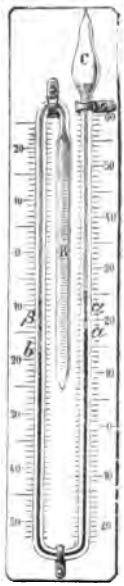


Fig. 45.— Thermométrographe de Six et Bellani.

Lorsque la température s'élève, le mercure avance dans la tige graduée de la chambre à air et soulève l'index qu'il amène et laisse dans la plus haute position atteinte qui correspond à la température maxima. Lorsque la température s'abaisse, l'alcool du réservoir se contracte, le mercure se retire et son extrémité soulève dans la tige graduée du réservoir, l'autre index qu'il laisse dans la position la plus élevée qui correspond à la température minima. Les lectures se font à la portion inférieure de chaque index; les deux extrémités de l'index de mercure se meuvent sur deux graduations chiffrées en sens inverse et indiquent de part

et d'autre une même température correspondant à la température actuelle de l'air. Quand les lectures sont faites, on remet les index en contact avec le mercure en les faisant mouvoir à l'intérieur. Il suffit pour cela de promener à l'extérieur de la tige graduée un aimant qui déplace l'index en agissant au travers du verre par son aimantation sur la petite tige de fer qui occupe l'axe de chaque index.

Thermomètres avertisseurs.— On trouve encore, dans le commerce, des thermomètres qui non seulement indiquent les maxima ou les minima atteints, mais encore avertissent de l'instant précis où une température donnée vient de se produire. Le mercure du thermométrographe précédent vient buter, par exemple, contre un fil de platine qui descend dans la tige jusqu'au niveau de la température pour laquelle on désire être averti et établit alors la fermeture d'un circuit électrique qui actionne une sonnerie. Ces thermomètres étant spécialement employés pour l'avertissement des gelées de printemps, nous les décrirons ultérieurement avec plus de détails.

MM. Richard ont appliqué le dispositif de leur thermomètre enregistreur à la construction d'un thermomètre avertisseur. Le tube thermo-manométrique, monté sur une platine métallique, commande, par une simple bielle, une aiguille indiquant la température du milieu où l'instrument est placé. Sur le verre qui protège le cadran se trouvent deux index métalliques que l'on place sur les températures maxima et minima pour lesquelles on désire être averti. Quand la température atteint le point minima ou le point maxima, où l'on a

fixé les index, le courant électrique se trouvant fermé, la sonnerie avertit l'observateur.

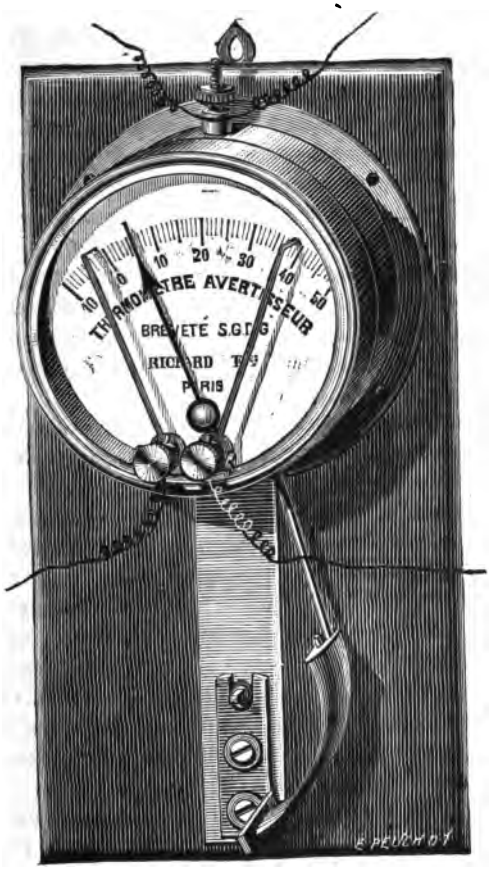


Fig. 46. — Thermomètre avertisseur Richard.

Lorsque le thermomètre doit plonger dans la matière dont on veut connaître la température, silos, magasins à fourrages, cuves à liquide, MM. Richard donnent à leur avertisseur une forme un peu différente. L'organe principal est un petit récipient de métal rempli exactement d'un liquide spécial dont la dilatation est accusée par une série de membranes souples métalliques, immergées dans ce liquide. La marche des membranes métalliques s'additionne et fait mouvoir une tige métallique qui vient établir le contact quand la température voulue est atteinte. Le récipient, muni de son contact, est monté à l'extrémité d'un tube formant canne exploratrice. L'échauffement du liquide dilatable se produisant par la paroi extérieure du récipient, l'instrument est en contact direct et intime avec la source de chaleur qu'on veut mesurer.

Les thermomètres métalliques Lemaire-Fournier sont des thermomètres à lame bimétallique, dont la flexion pour une température déterminée établit un contact entre un taquet fixe et l'extrémité libre de la lame bimétallique. La lame communique avec l'un des bouts du circuit d'une sonnerie et d'une pile ; le taquet est relié à l'autre extrémité du même circuit. Le taquet est en outre mobile sur une graduation divisée en degrés et peut établir le contact suivant sa position pour telle température à laquelle on désirera être averti. On peut reprocher à ces thermomètres d'être paresseux lorsque la lame bimétallique est trop épaisse ou de donner un mauvais contact lorsqu'elle est trop mince.

Le modèle à lame bimétallique épaisse est d'une construction robuste et convient assez bien à l'avertissement des températures à variations lentes, telles que celle des serres et étuves. Il peut, de plus, supporter

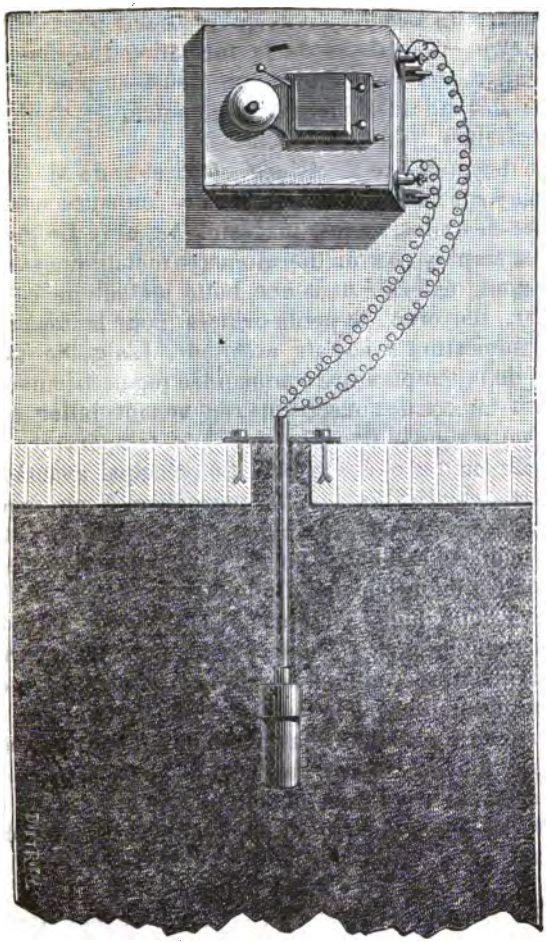


Fig. 47. — Canne thermométrique.

des températures élevées bien supérieures à 100°, sans présenter les inconvénients qui résultent pour les thermomètres précédents de la formation intérieure des vapeurs à une température supérieure au point d'ébullition des liquides thermo-manométriques facilement vaporisables, tels que l'alcool.

Le thermomètre électrique avertisseur de M. Gerboz est plus spécialement destiné à faire connaître la température des silos, caves, magasins à grain. Le thermomètre employé est un thermomètre métallique système Bourdon, enfermé dans une boîte métallique en fonte de fer, perforée de petits orifices pour la mettre en communication avec l'air extérieur. L'aiguille indicatrice de la température commandée par le thermomètre établit un contact électrique, en venant buter contre une autre aiguille fixe disposée à la température pour laquelle on désire être averti. Le principal avantage de l'avertisseur Gerboz est de permettre, à un moment quelconque, la vérification des communications et des contacts. A cet effet, un fil supplémentaire permet d'envoyer le courant de la pile dans le circuit de l'aller et du retour, tout en intercalant un galvanomètre dans le circuit, lorsqu'on presse sur un bouton de vérification. La déviation du galvanomètre indique que les communications sont bonnes. De plus, le courant ainsi envoyé au thermomètre avertisseur agit sur un électro-aimant qui fait dévier l'aiguille fixe et la ramène temporairement au contact de l'aiguille mobile. Si les contacts sont bons, la sonnerie du poste entre aussitôt en action.

Thermomètre enregistreur. — Enfin, il existe des thermomètres qui laissent une trace écrite de toutes les

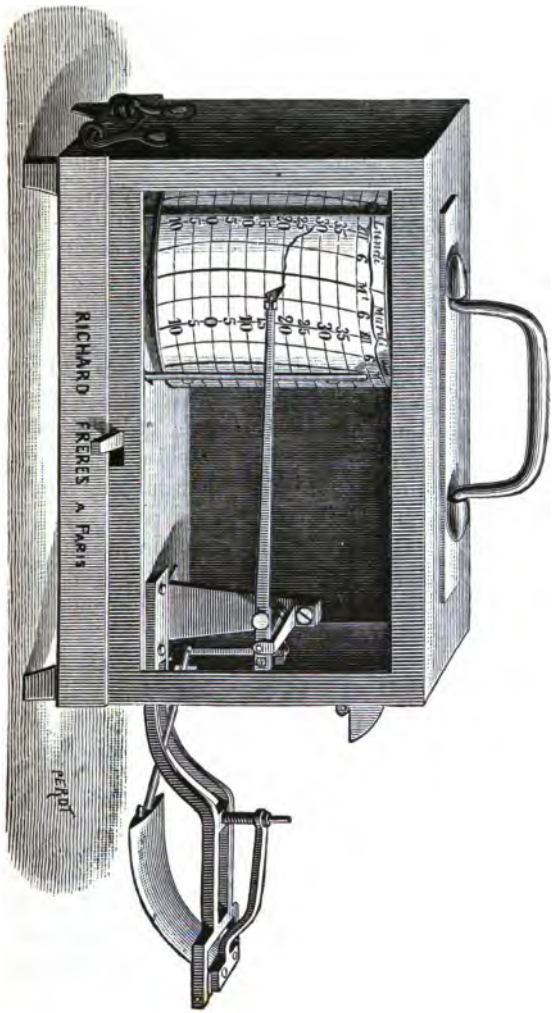


Fig. 48. — Thermomètre enregistreur Richard.

températures réalisées aux divers instants de la journée. Le thermomètre enregistreur de MM. Richard joint à des conditions de bon marché relatif la qualité essentielle d'un fonctionnement très simple et très régulier. Il consiste en un thermomètre métallique constitué par un réservoir aplati et recourbé rempli complètement d'alcool. Lorsque la température s'élève, l'alcool se dilate et la courbure du réservoir diminue. Comme l'une des extrémités de celui-ci est fixée sur un bâtis immobile, l'extrémité libre se meut et entraîne dans son mouvement une aiguille qui se termine par une plume spéciale garnie d'encre à la glycérine colorée. L'aiguille se meut sur un cylindre vertical qui exécute une révolution sur lui-même en 7 jours, grâce à un mouvement d'horlogerie intérieur qui détermine sa rotation. Il suffit, toutes les semaines, d'enlever la feuille du cylindre, de la remplacer par une nouvelle et de remonter le mouvement pour avoir un registre très détaillé, résumé sous forme d'un graphique, renfermant toutes les températures qui se sont successivement produites avec l'indication des heures auxquelles elles ont été réalisées.

M. Rédier construit un autre thermomètre enregistreur, basé sur un principe différent, donnant des indications à plus grande échelle, mais dont le prix de revient est trop élevé pour que l'on puisse le proposer à un agriculteur. Il ne peut en outre être transporté facilement d'un point à un autre, comme le thermomètre enregistreur de Richard que l'on vient de décrire. Le thermomètre enregistreur de M. Rédier inscrit les variations de longueur d'un tube de zinc qui se dilate à l'intérieur d'un tube en fer lui servant de point d'appui. La différence des dilatations du fer et du zinc est pro-

portionnelle à l'élévation de température et actionne un style distributeur qui règle le sens d'évolution d'un équipage différentiel chargé de guider un crayon sur le cylindre des heures de l'enregistreur.

Réparations des accidents qui peuvent survenir aux thermomètres. — Les accidents qui surviennent aux thermomètres en cours d'observation ne sont pas toujours mortels, comme ceux déterminés par la chute fortuite de l'instrument qui amène en général la rupture de la tige graduée ou du réservoir du thermomètre. Ce sont là des dégradations irréparables, mais très souvent l'indication d'un thermomètre peut être complètement faussée par la division du liquide thermométrique à l'intérieur de la tige divisée. On peut alors y porter remède.

La division de la colonne thermométrique provient, chez les thermomètres à mercure, de ce que l'instrument a subi un choc ou bien de ce qu'il a été transporté la tête en bas, c'est-à-dire le réservoir tourné vers le haut, ou bien encore de ce qu'il a été soumis à une température exagérée alors qu'il était horizontal, température qui a pu faire déverser un globule de mercure dans la chambre à air et le séparer du reste de la colonne thermométrique.

Chez les thermomètres à alcool, la formation des index alternant d'air et de liquide est encore plus fréquente. Elle se produit normalement dans les thermomètres mis horizontalement en observation et dont la température du réservoir est supérieure à celle de la tige. Il se produit une distillation lente de l'alcool et sa condensation aux points de la tige où la température est moins élevée y détermine la formation d'index isolés.

Les causes de ces accidents étant connues en général,

le meilleur remède est un remède préventif qui consiste à traiter toujours les thermomètres avec certains égards en leur évitant les accidents qui peuvent les détériorer. Mais quand le mal existe, on peut le faire disparaître par l'un des procédés suivants :

Si la tige du thermomètre se termine par une boucle, on le suspend à l'extrémité d'une ficelle de 0^m50 et l'on fait rapidement tourner en fronde l'instrument. La force centrifuge fait rentrer le liquide dans la direction du réservoir. S'il n'y a pas de bulles d'air interposées entre les index, ceux-ci se rapprochent et se soudent en une colonne continue qui se raccorde avec le liquide du réservoir. Ce procédé, qui est dangereux, soit parce que la corde que l'on tient à la main risque de vous échapper ou parce que le thermomètre dans sa rotation rapide craint de heurter contre les objets voisins, doit être surtout essayé quand le liquide thermométrique remplit complètement la chambre à air.

Pour les thermomètres à mercure qui présentent une chambre à air, on a recours fort utilement et plus sûrement à un procédé moins brutal, mais qui, cependant, nécessite un certain apprentissage pour l'exécuter sans aucun danger. On chauffe avec précaution le réservoir et l'on force une colonne de mercure de 8 à 10 centimètres à s'engager dans la tige. On retourne vivement l'instrument (le réservoir vers le haut) et l'on donne un coup sec pour séparer l'index ainsi engagé. Celui-ci parcourt alors le tube et chasse devant lui tous les index qui s'étaient accidentellement formés et les force à pénétrer dans la chambre à air. Dès que l'index que l'on a formé y est arrivé lui-même par son extrémité supérieure, on redresse rapidement le thermomètre ; on

donne une petite secousse latérale à la chambre à air, en la frappant contre l'index de la main libre.

Les globules correspondant aux index se soudent en un seul et avec l'extrémité de l'index qui a servi à les refouler. Il suffit alors de maintenir l'instrument vertical pour que tout le mercure descende et vienne se fondre avec celui du réservoir sans l'interposition d'aucune bulle d'air.

Ce procédé, très commode, n'est pas applicable lorsque le mercure, en se divisant, a accidentellement rempli à peu près complètement la chambre à air. Il est utile alors, avant de commencer l'opération, de chauffer préalablement la chambre à air avec précaution pour dilater les gaz raréfiés qu'elle peut renfermer et éviter qu'en opérant comme il vient d'être dit, on n'amène son remplissage complet, ce qui peut mettre l'instrument hors de service.

Enfin, quand on n'est pas assez sûr de soi, on doit avoir recours à un procédé plus long, mais très sûr. On prend un chapeau ordinaire en feutre dur et, tenant la tige du thermomètre entre le pouce et l'index, on laisse le réservoir tomber sur le fond du chapeau d'une hauteur de 2 à 3 centimètres. Le choc est suffisamment amorti par le feutre pour ne présenter aucun danger de rupture et, à chaque trépidation, une petite quantité de liquide se détache de la partie inférieure de chaque index pour se souder au liquide inférieur. Après quelques minutes de cet exercice, les index ont complètement disparu. L'opération avec les thermomètres à alcool marche même assez vite, et l'on ne saurait du reste leur appliquer, sans de sérieuses difficultés, le procédé de la chambre à air.

Avec les thermomètres à minima à alcool, il arrive

quelquefois que l'index reste collé contre la tige thermométrique en dehors de la colonne liquide ; il suffit alors de quelques secousses un peu énergiques pour l'obliger à y rentrer. On facilite l'opération en chauffant le liquide du réservoir pour l'obliger à s'élever de nouveau jusqu'au niveau où l'index s'est arrêté ; l'alcool mouille l'index et celui-ci retombe de lui-même dans le réservoir.

Quant aux accidents qui peuvent survenir aux enregistreurs, ils se traduisent le plus souvent par le déréglage de l'instrument ou par l'arrêt de son mouvement d'horlogerie. Dans le premier cas, il suffit, à l'aide d'une clef et d'une vis spéciales dans le thermomètre de Richard, de faire osciller le réservoir thermométrique autour de son point d'appui jusqu'à ce que le style indique la température d'un thermomètre ordinaire placé à côté. Dans le second cas, il faut avoir recours aux bons offices d'un horloger, qui n'aura le plus souvent qu'à opérer le dégraissage du mouvement d'horlogerie.

Nous avons décrit les principaux instruments qui peuvent renseigner exactement l'agriculteur sur les diverses températures qu'il peut se proposer d'évaluer, qu'elles aient ou n'aient pas de rapports plus ou moins directs avec la chaleur émanée du soleil. Dans le sujet qui nous occupe, nous avons plus spécialement à nous préoccuper de la mesure des températures qui dérivent directement des radiations du soleil, et, après avoir décrit les instruments, il nous reste à indiquer comment on mesure la *température de l'air et du sol*.

Les radiations du soleil traversent l'atmosphère sans l'échauffer sensiblement, surtout si elle est très pure; elles sont reçues directement par le sol qui les transforme en radiations obscures pendant que sa tempé-

rature s'élève. Le sol chauffé transmet ensuite à l'air, par conductibilité, la chaleur qu'il a reçue du soleil, et la température des couches de l'atmosphère voisines du sol ne s'échauffe guère que par l'intermédiaire de ce dernier. Nous commencerons donc notre étude des métamorphoses d'un rayon de soleil en examinant tout d'abord comment et pourquoi varie la température du sol.

TEMPÉRATURE DU SOL

La température du sol a cela de particulier qu'elle est essentiellement variable avec la profondeur, tout au moins dans les assises superficielles. La variation de la température avec la profondeur est surtout rapide entre la surface et 1 mètre de profondeur ; c'est aussi la couche dans laquelle végètent les racines d'un bon nombre de nos plantes cultivées. La mesure des températures du sol utiles à connaître nécessite donc un dispositif permettant cette détermination entre 0 et 1 mètre.

On a proposé tout d'abord, dans ce but, l'emploi de thermomètres à longue tige dont le réservoir sphérique était plongé dans la couche dont on voulait évaluer la température. Mais il est facile de comprendre combien étaient fragiles de pareils thermomètres dont la tige de verre devait avoir jusqu'à 1 mètre de longueur. De plus, cette longue tige traversait des couches de température différente qui déterminaient une erreur dans l'indication de l'instrument en dilatant le mercure de la tige. Il fallait un calcul pour déterminer la correction de cette erreur ou bien une seconde observation portant sur une tige graduée de même longueur sans réservoir et pleine de mercure disposée à côté de celle du thermomètre.

Il est beaucoup plus pratique d'avoir recours au dispositif employé par M. Crova, à Montpellier, qui a servi à mesurer sans interruption les températures du sol depuis 1875 jusqu'à ce jour. Des thermomètres ordinaires à mercure sont incrustés à l'extrémité de madriers en bois de 8 à 10 centimètres d'équarrissage. Le réservoir du thermomètre, qui peut être cylindrique, dépasse l'extrémité du madrier et est enfermé dans une petite caisse cubique en cuivre rouge qui prolonge et termine ce dernier. Le madrier coulisse dans une gaine en sapin, fermée à sa partie inférieure par une plaque de cuivre rouge. Cette plaque est immergée dans le sol exactement à la profondeur dont on veut obtenir la température. Grâce à la bonne conductibilité du cuivre rouge, la température de la plaque se communique rapidement à l'enveloppe métallique de la boîte qui termine le madrier et de là jusqu'au réservoir du thermomètre qui est plongé dans la terre dont on a eu soin de remplir, une fois pour toute, la boîte métallique.

Un petit toit en zinc, surmonté d'une boucle, empêche la pluie de pénétrer dans la gaine. Le madrier est entouré à deux niveaux différents, à l'intérieur de la gaine, d'une petite bandelette de feutre qui forme joint et empêche l'air de circuler le long du madrier. Enfin, pour assurer la conservation du dispositif, le madrier et sa gaine ont été passés plusieurs fois, avant leur immersion dans le sol, à l'huile de lin cuite et bouillante. On évite ainsi le gonflement du bois, dû à l'humidité du sol, qui pourrait entraver la manœuvre de l'appareil.

Pour faire une lecture, on retire lentement le madrier de sa gaine et on lit le thermomètre sans se presser. La

mauvaise conductibilité du sol enfermé dans la boîte métallique prévient toute variation rapide de température et l'on peut prendre facilement 2 à 3 minutes pour faire la lecture sans que le thermomètre varie d'une manière appréciable.

M. Eon a construit un *thermomètre-piquet* destiné à renseigner les horticulteurs sur la température d'une terre, d'une couche ou d'une plate-bande. Il se compose d'un thermomètre à alcool monté sur un demi-cylindre en bois qui le garantit des chocs ; le tout se place dans un étui en zinc percé de trous à son extrémité inférieure et se termine en pointe pour que l'on puisse plus facilement l'introduire dans le sol.

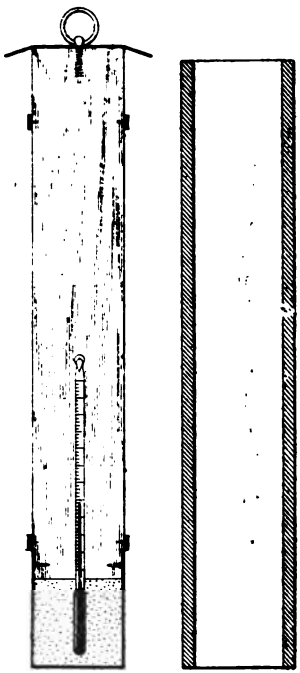


Fig. 49. — Thermomètre pour la mesure de la température du sol.

Il suffit de 4 thermomètres échelonnés dans le sol à quatre profondeurs distantes de $0^m,25$ (soit à $0^m,25$, $0^m,50$, $0^m,75$, 1 mèt.) pour déterminer exactement le régime de la marche de la température dans un sol déterminé.

L'échauffement inégal de divers sols pour une même quantité de chaleur incidente résulte des propriétés physiques qui différencient les diverses natures de

terrains. La propriété qui paraît au premier abord exercer l'action la plus directe sur l'échauffement des sols, est leur *pouvoir absorbant*. Un sol noir possède évidemment un pouvoir absorbant généralement supérieur à celui d'un sol blanc. La couleur noire indique qu'il y a eu destruction complète des radiations lumineuses incidentes, la couleur blanche prouve qu'une partie de la lumière apportée par la radiation n'a pas pénétré dans le sol, mais a été réfléchie et diffusée en tous sens. Or, tout rayon de lumière est accompagné de chaleur et le sol noir bénéficie de l'équivalent calorifique de la lumière détruite. Mais une bonne part de la chaleur arrive au sol sous forme d'énergie calorifique obscure et l'on ne peut affirmer que le sol noir conserve sur le sol blanc le même avantage pour l'incorporation de ces rayons que celui qu'il manifestait pour les radiations lumineuses. L'expérience prouve au contraire que le noir de fumée et le blanc de céruse absorbent en quantité sensiblement égale les radiations obscures, et l'absorption de la chaleur obscure paraît être également bien réalisée par toutes les substances dont la surface présente un même état physique : structure granuleuse, pulvérulente, indépendante de sa coloration.

Mais il ne suffit pas à un sol d'absorber de la chaleur pour que sa température s'élève, il faut encore qu'il sache la conserver. La *conservation de la chaleur* par un sol dépend de deux éléments : 1° son *pouvoir émissif ;* 2° sa *conductibilité*. Le pouvoir émissif d'un sol est égal à son pouvoir absorbant quand il s'agit d'une même nature de radiations absorbées et émises, et, dans ces conditions, l'accroissement de température, dû à l'élévation du pouvoir absorbant, serait assez exactement compensé par la diminution de température

résultant de l'exagération correspondante du pouvoir émissif. Mais il est bon de remarquer que la chaleur qui entre dans le sol n'est pas de même nature que celle qui en sort. Le sol absorbe des radiations calorifiques et lumineuses ; il n'émet que des radiations obscures. Il n'y a donc pas identité entre le pouvoir absorbant d'un sol et son pouvoir émissif. De plus, pour que la chaleur puisse s'échapper du sol, il faut qu'elle le traverse par conductibilité, et, suivant la valeur de cet élément, le refroidissement d'un bloc de terre de composition différente sera plus ou moins rapide.

Le tableau suivant, emprunté au *Cours de chimie agricole* de M. Dehérain, donne, d'après les expériences de Schübler, la faculté de retenir la chaleur mesurée sur divers terrains. Cette faculté a été mesurée en évaluant le temps que 595^{cc} de terre ont mis à se refroidir de 62°,5 à 21° dans un air ambiant dont la température était de 16°,2.

	Faculté de retenir la chaleur	Durée du refroidissement
Sable calcaire.	100.0	3^{h}30
Sable siliceux.	95 6	3 27
Gypse	73.2	2 34
Argile maigre.	76.9	2 41
Argile grasse.	71.1	2 30
Terre argileuse	68.4	2 24
Argile pure	66.7	2 19
Calcaire en poudre fine.	61.8	2 10
Humus.	49.0	1 43
Terre de jardin. . . .	64.8	2 16
Terre arable d'Hofwyl.	70.1	2 27
Terre arable du Jura. .	74.3	2 36

Deux sols peuvent absorber la même quantité de chaleur, en retenir des quantités égales et cependant s'échauffer inégalement. Il suffit pour cela que leur *chaleur spécifique* ou chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de 1 kilogramme de leur substance soit différente. La chaleur spécifique de divers sols a été déterminée par M. Pfaundler. Elle varie depuis 0,19 pour les sables purs jusqu'à 0,27 pour les terres ordinaires ; mais elle peut s'élever jusqu'à 0,41 pour des terrains exceptionnellement humifères. La chaleur spécifique de la tourbe atteint 0,50. De plus, la chaleur spécifique d'un même sol varie considérablement avec la proportion d'eau qu'il renferme. La chaleur spécifique de l'eau étant 1,00 et la proportion moyenne de l'eau contenue annuellement dans un sol normal étant voisine de 10 °/₀ et pouvant s'élever jusqu'à 20 °/₀ pour descendre à 0, on voit combien peut varier la chaleur spécifique du mélange qui est réalisée aux diverses saisons de l'année par les couches superficielles du sol.

Ces différences dans les propriétés physiques essentielles des divers sols se traduisent par des élévations de température inégales des divers terrains exposés au soleil. Le tableau suivant, emprunté aux mêmes sources que le précédent, donne la température maxima réalisée dans la couche superficielle du sol, la température moyenne de l'air ambiant étant de 25°.

	Température maxima	
	Terre humide	Terre sèche
Sable siliceux gris-jaunâtre. . .	37°25	44°75
Sable siliceux gris-blanchâtre . .	37.38	44.50
Gypse clair gris-blanchâtre . . .	36.25	43.62
Argile maigre jaunâtre.	36.75	44.12
Argile grasse	37.25	44.50
Terre argileuse gris-jaunâtre . .	37.38	44.62
Argile pure gris-jaunâtre. . . .	37.50	45.00
Terre calcaire blanche	35.63	43.00
Humus gris-noir.	39.75	47.37
Terre de jardin gris-noir	37.50	45.25
Terre arable d'Hofwyl grise. . .	36.88	45.25
Terre arable du Jura grise . . .	36.50	43.75

On voit que les différences de température réalisées dans les terres sèches ne sont pas très considérables. Cela résulte en partie de ce que l'élément humifère qui abaisse l'élévation de la température par l'accroissement de la chaleur spécifique augmente simultanément l'absorption de chaleur par la terre arable. En pratique, l'échauffement d'un sol est surtout réglé par les variations du taux de l'humidité qu'il renferme. De là vient que les régions à terres compactes douées d'un pouvoir hygroscopique élevé sont assez souvent désignées sous le nom de *terres froides.*

Quelle que soit la composition du sol, la *marche diurne* de la température est sous la dépendance directe de celle de la radiation solaire.

La température du sol à la surface croît progressivement depuis le lever du soleil jusqu'aux premières heures de l'après-midi, puis décroît de nouveau pro-

gressivement jusqu'au lever du jour suivant. La température du sol croît le plus rapidement possible vers 10 heures du matin, c'est-à-dire à l'époque intermédiaire entre le minimum et le maximum ; elle décroît le plus rapidement peu de temps après le coucher du soleil.

La chaleur se communiquant de proche en proche par conductibilité, la température des couches inférieures présente dans sa marche diurne une allure semblable. Toutefois, comme il faut un certain temps pour que la chaleur se propage à une certaine profondeur, les maxima et les minima se produisent à des heures de plus en plus avancées dans la journée, à mesure que la profondeur augmente. Déjà, à la profondeur de 0^m25, alors que le maximum de température se produit à la surface vers midi, il n'arrive à cette profondeur que vers 6 heures du soir.

En même temps, l'*amplitude de l'oscillation diurne* de température décroît rapidement, et tandis que l'air, dont la température varie cependant moins que celle des assises superficielles du sol, présente une variation de 10 à 12 degrés, l'amplitude à 0^m25 se réduit à 1° ou 1°5. Enfin les oscillations déterminées à la surface du sol par les fluctuations incessantes de la radiation solaire s'effacent et disparaissent complètement à quelques centimètres de profondeur.

La température moyenne diurne d'un sol à une certaine profondeur est supérieure à celle de l'air en hiver et inférieure en été. Les écarts réalisés en été sont, en général, supérieurs à ceux de l'hiver. Cette particularité est une conséquence naturelle de la mauvaise conductibilité du sol ; elle tend à uniformiser la température du sol pendant le cours de l'année.

La *marche annuelle* de la température du sol présente les mêmes caractères que la marche diurne. Le maximum et le minimum de température annuels retardent avec la profondeur, et l'amplitude de l'oscillation annuelle décroît rapidement.

Pendant une série de 13 années d'observations poursuivies à l'Ecole d'agriculture de Montpellier (1), alors que la température la plus élevée de l'air a atteint 39°4, celle du sol à 0^{m}50 s'est élevée à 26°18, et tandis que le minimum de l'air s'est abaissé à —10°7, la température du sol n'est pas descendue, à la même profondeur, au-dessous de 3°22. Sous ce climat, les gelées n'atteignent pas, en général, la profondeur de 0^{m}50.

Pendant la saison chaude de l'année, les températures du sol vont en décroissant avec la profondeur; pendant la saison froide, elles affectent, au contraire, une distribution inverse. Lorsque la température croît avec la profondeur, la chaleur sort du sol; elle y pénètre, au contraire, lorsque le sol est plus chaud à la surface que dans ces couches inférieures. La migration de la chaleur dans le sol présente donc deux phases distinctes; avec le mois de mars commence la période d'emmagasinement de la chaleur dans le sol; avec le mois de septembre, celle de l'émission des radiations calorifiques accumulées pendant les mois précédents. A Montpellier, la période d'inversion dans la distribution des températures à diverses profondeurs est plus courte en automne qu'au printemps. Au commencement du développement de la végétation, il semble que la chaleur hésite à entrer dans le sol et il en résulte

(1) Houdaille. — Marche annuelle de la température du sol à Montpellier, *in Bulletin météorologique* de l'Hérault, année 1891.

quelquefois des conditions défavorables au départ d la végétation.

Grâce à la faible conductibilité du sol pour la ch leur, celle-ci y pénètre aussi lentement qu'elle en sort. L température du sol surtout, à une certaine profondeu varie donc très lentement et les racines des plantes q y végètent ne sont pas exposées aux désagréments de brusques variations de température.

Quand le sol se refroidit à la surface considérable ment, l'abaissement de température n'a lieu que pro gressivement à une certaine profondeur et il faut u certain nombre de jours de gelée consécutifs pour qu le sol gèle à une profondeur de quelques décimètres. Pendant les hivers rigoureux du siècle dernier, on con stata, en 1766, que 32 jours de gelée consécutifs, Paris, n'avaient gelé le sol que sur une épaisseur d 466^{mm}. La progression de la gelée, par jour, avait ét 14^{mm}6. En 1789, 33 jours de gelée abaissèrent jusqu'à 0° la température d'une couche de 585^{mm}; la progres sion diurne de la gelée fut de 17^{mm}9. Pour une périod de gelée de 8 jours, la congélation diurne du sol n paraît pas progresser au delà de 3 centimètres. Toute fois, ces résultats doivent varier un peu avec la nature des sols et les valeurs absolues des températures minim réalisées à la surface.

M. Guillaume (1), professeur à l'École d'agricultur de Tomblaine, a observé, pendant l'hiver rigoureux d 1890-91, la marche progressive du gel et du dégel dan des sols de diverse nature. Cet hiver, exceptionnelle

(1) Guillaume.— Température, gel et dégel des sols, *in* ***Bulleti météorologique*** de Meurthe-et-Moselle (année 1891).

nent rigoureux à Nancy, a commencé le 26 novembre 1890, et jusqu'au 24 janvier 1891, c'est-à-dire pendant 2 mois, il n'y a eu qu'un seul jour sans gelée.

La congélation des sols s'est effectuée aux profondeurs $0^m,25$ et $0^m,50$, à des dates assez différentes, dans les divers sols.

	Epoque de la congélation	
	à $0^m,25$	à $0^m,50$
Silice	29 novembre	16 décembre
Silice argileuse	11 décembre	19 décembre
Argile. . . .	13 décembre	27 décembre
Craie.	17 décembre	8 janvier
Tourbe. . . .	18 décembre	12 janvier

Le dégel s'est effectué aux dates consignées dans le tableau suivant:

	Epoque du dégel	
	à $0^m,25$	à $0^m,50$
Silice	1er mars	1er février
Silice argileuse . . .	4 mars	12 février
Argile.	5 mars	2 mars
Craie	9 mars	4 mars
Tourbe.	17 mars	5 mars

La distribution des températures dans le sol au moment du dégel montre que ce dernier s'effectue simultanément et par le haut et par le bas. Il est dû à l'action de la chaleur centrale aussi bien qu'à celle de la chaleur de l'atmosphère.

La valeur absolue des températures réalisées dans le sol à diverses profondeurs, dans le courant de l'année, varie avec les régions, leur situation géographique et la nature des sols, mais l'allure générale de la marche de la température du sol est toujours respectée.

M. Guillaume (1) a examiné la vitessse avec laquelle la température de l'air se propage dans divers sols à l'aide de mesures thermométriques prises à $0^m,25$ et $0^m,50$ dans cinq terres différentes : *argile*, *argile siliceuse*, *silice*, *craie* et *tourbe*. La silice est, de tous ces sols, celui qui s'échauffe le plus rapidement et suit de plus près les variations de température de l'air. Le sol le plus chaud en hiver est la tourbe ; mais, en été, sa température moyenne diffère peu de celle de l'air . Entre ces deux termes extrêmes se placent l'argile, la craie, puis l'argile siliceuse. Ces divers sols se classent, au point de vue de la transmission des températures, dans le même ordre que celui des quantités d'eau qu'ils renferment normalement. M. Grandeau a trouvé, pour les sols en expérience séchés à l'air, 60 o/o d'humidité dans la tourbe, 8,5 pour l'argile, 5 pour l'argile siliceuse, 1,5 pour la craie et 0,7 o/o pour le sable. Les différences d'échauffement des sols et les variations des températures extrêmes qu'ils accusent dans le cours de l'année paraissent surtout déterminées par les différences de leur teneur en humidité.

Les températures moyennes annuelles se classent dans un ordre un peu différent, mais les différences sont très faibles d'un sol à l'autre.

---

(1) Guillaume.— Propagation et marche annuelle de la chaleur dans les divers sols. *Bulletin météorologique* de Meurthe-et-Moselle, années 1886 et 1889).

	Température moyenne du sol en 1889	
	à 0m,25	à 0m,50
Tourbe	9°51	9°75
Craie	9°03	9°33
Argile	9°56	9°60
Argile siliceuse	9°52	9°56
Silice	9°46	9°75

La température moyenne annuelle de l'air a été de 8°87 sous l'abri à 1m,80 du sol.

M. Forbes a déterminé, à Edimbourg, la marche de la température dans des sols de diverses constitutions. Les tableaux suivants résument les résultats de ses observations.

Amplitude de la variation annuelle

Profondeur =	1m0	1m90	3m90	7m80
Trapp	10°53	6°61	3°5	0°80
Sable	11°23	8°30	4°19	1°16
Grès	9°58	7°72	5°22	2°28

Epoque des maxima de température

	1m0	1m90	3m90	7m80
Trapp	6 août	2 sept.	17 oct.	8 janv.
Sable	31 juillet	24 août	7 oct.	30 déc.
Grès	5 août	19 août	11 sept.	11 nov.

A la profondeur de 10 mètres, la température du sol varie en général de moins de 1°, et à 20 mètres la variation annuelle disparaît sensiblement en même temps que le maximum, qui retarde de près de 6 mois à 7m,80, finit par retarder de 12 mois à la profondeur de 20 mètres. Le

maximum observé en 1892 résulte de la température reçue par le sol en 1891 ; la variation annuelle disparaissant à peu près, les variations de température dans le sol succédant à celles de la surface à 1 an d'intervalle et les températures moyennes annuelles des diverses années étant très voisines l'une de l'autre, il en résulte une température à peu près invariable du sol à cette profondeur : c'est la couche à température constante. Dans les caves de l'observatoire de Paris, situées à cette profondeur, la température, depuis un siècle, n'a pas varié de 1 dixième de degré.

Au delà de cette profondeur, la température croît régulièrement et en moyenne de 1° par 32 mètres. Cet accroissement résulte de la lente propagation de la chaleur centrale du globe. La température du sol arable est, en réalité, sous la dépendance de deux flux de chaleur, l'un descendant provenant du soleil ; l'autre ascendant provenant de l'intérieur du globe.

La chaleur centrale manifeste surtout son action par la température élevée qu'elle communique aux eaux de certaines sources qui ont traversé les couches profondes du sol. La température des sources de Chaudesaigues, en Auvergne, dépasse 80°, et celle des sources jaillissantes des geysers d'Islande est supérieure à 100°.

La température des sources ordinaires qui proviennent des assises peu profondes du sol est voisine de la température moyenne annuelle du sol.

Quand la nappe aquifère est réalisée dans des couches trop voisines de la surface et est sujette à tarir en été, elle participe aux variations annuelles de la température à cette profondeur ; la température de ces sources varie de l'été à l'hiver. Quand, au contraire, la nappe d'eau est plus profonde et assure un débit régulier, la

température des eaux au point d'émergence reste constante en toute saison. La variation annuelle de la température d'une source ou même sa mesure à une époque donnée de l'année donne, lorsqu'on connaît la température moyenne annuelle de la localité, un renseignement fort utile sur la constance probable du débit des eaux qu'elle peut assurer.

TEMPÉRATURE DE L'AIR

Il ne suffit pas, pour obtenir la température de l'air, de lire un thermomètre exposé librement en plein air d'une façon quelconque ; il faut avant tout l'observer à l'ombre et à l'abri des radiations diffuses qui sont émises par les objets voisins. De là l'emploi presque exclusif des thermomètres à mercure et la nécessité d'un abri spécial pour protéger le thermomètre.

Le plus simple et le plus efficace des *abris thermométriques* consiste en deux panneaux de bois superposés à 0^m10 d'intervalle et inclinés à 45° environ et faisant face au midi. Ce double panneau est supporté par deux poteaux fichés dans le sol ; un troisième poteau supporte une petite planchette disposée verticalement à l'ombre des panneaux pour supporter les thermomètres mis en observation. Deux joues latérales attenantes aux panneaux protègent la planchette contre les rayons du soleil à son lever et à son coucher.

Il est facile de comprendre le but et l'efficacité de cette disposition. Le panneau supérieur s'échauffe au soleil, mais cet échauffement détermine entre les deux panneaux la circulation continue d'un courant d'air qui

maintient constante la température du deuxième panneau. Celui-ci ne peut s'échauffer et rayonner de la chaleur vers les thermomètres.

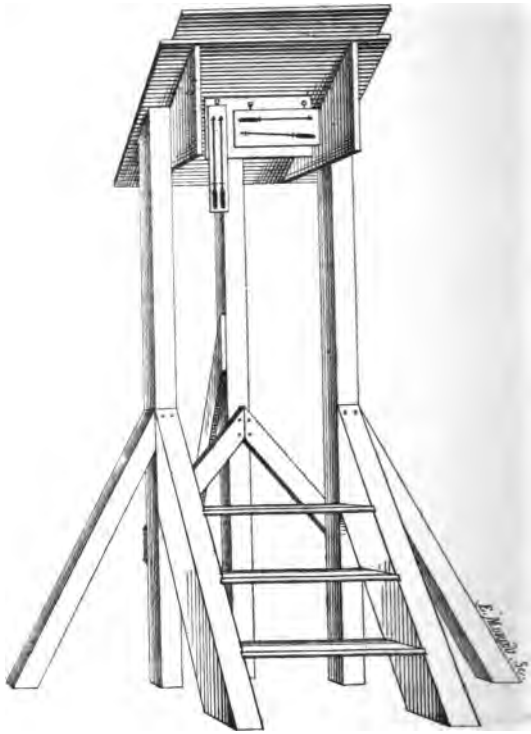


Fig. 50. — Abri thermométrique.
(Modèle de la Commission météorologique de l'Hérault).

Il est utile que le poteau qui supporte la planchette soit indépendant de ceux qui soutiennent les panneaux

de l'abri. En effet, sous l'action du vent, les panneaux sont quelquefois un peu secoués et les trépidations pourraient fausser les indications des thermomètres à maxima ou à minima en faisant rétrograder les index. La planchette et le poteau qui la soutient offrent au contraire peu de prise au vent et sont partiellement abrités par les panneaux.

Enfin il est utile de gazonner le sol dans le voisinage de l'abri, afin d'éviter sa réverbération, c'est-à-dire l'émission des radiations diffuses qui fausseraient la mesure de la température de l'air. Il faut, dans le même but, éviter de disposer l'abri dans le voisinage trop immédiat de la façade d'un bâtiment exposée au midi.

Si l'on veut se dispenser de la construction d'un abri spécial fort utile, mais toujours un peu coûteuse, on devra rechercher un mur exposé au nord. Il suffira d'y installer la planchette des thermomètres en l'abritant par une simple planche inclinée au-dessus, formant toit protecteur contre la pluie, et d'encastrer latéralement dans le mur deux petites planchettes pour abriter les thermomètres le matin et le soir vers le lever et le coucher du soleil, surtout en été. On trouve du reste, dans le commerce, de petits abris en fer-blanc d'un prix assez modique qui conviennent assez bien pour cette destination.

La planchette reçoit, en général, un thermomètre à maxima et un thermomètre à minima. On les dispose sur une planchette indépendante suspendue par deux pitons, de telle sorte que l'on puisse, en la décrochant d'un côté, la laisser pendre verticalement. Il suffit d'y disposer les thermomètres à maxima et à minima l'un au-dessous de l'autre, mais orientés en sens inverse, pour

que le redressement de la planchette remette simultanément en place les deux index.

On peut aussi disposer à l'ombre du panneau protecteur le thermomètre enregistreur de M. Richard et les divers autres instruments d'observation météorologique que l'on se proposerait d'observer.

Enfin on peut se dispenser de la construction de tout abri thermométrique spécial en employant, pour l'évaluation de la température de l'air, le procédé du *thermomètre-fronde*. On désigne ainsi un thermomètre à mercure de petite dimension et très exactement gradué, qu'un œilleton de verre, terminant la tige, permet de suspendre à l'extrémité d'un cordon. L'opérateur tourne le dos au soleil et fait tourner en fronde l'instrument dans l'ombre portée par son corps. Grâce au déplacement rapide du réservoir du thermomètre dans l'air qui glisse rapidement sur lui, l'échange de température est beaucoup plus actif et la température d'équilibre est exactement atteinte au bout de deux ou trois minutes: on s'en assure du reste en faisant deux lectures à une demi-minute d'intervalle ; si la température reste la même à 1/10 de degré près, on peut être certain que le thermomètre indique la température vraie de l'air. Ce procédé, qui a pour effet d'augmenter l'émission de chaleur par le réservoir thermométrique, est même si sensible que le thermomètre-fronde, tourné au soleil, donne une température très voisine de celle de l'air à l'ombre et n'en diffère en plus que de 3 à 4 dixièmes de degré.

L'emploi du thermomètre-fronde permet de reconnaître si l'abri thermométrique est convenablement disposé et si la protection qu'il engendre suffit à empêcher toute absorption des radiations diffuses par le thermo-

mètre fixe qu'il abrite. Il doit y avoir, pour que l'abri thermométrique soit bon, égalité entre la température du thermomètre de l'abri et celle du thermomètre-fronde.

Les trois températures de l'air les plus utiles à connaître dans l'intervalle d'une journée sont la *température maxima*, la *température minima* et la *température moyenne* de la journée. Les deux premières sont données directement par l'observation des thermomètres à maxima et à minima lus à 8 ou 9 heures du matin. La lecture du thermomètre à maxima donne la température maxima de la veille ; celle du thermomètre à minima donne la température minima du jour même. Le maxima de la veille s'est produit, en effet, vers 3 heures du soir ; le minima du jour vers le lever du soleil.

La *température moyenne de la journée* est donnée avec une parfaite exactitude par les graphiques de l'enregistreur. Il suffit, en effet, de faire la moyenne des températures qui y sont inscrites d'heure en heure ou même de deux heures en deux heures. On peut encore, pour plus d'exactitude, évaluer l'aire de la courbe à l'aide d'un planimètre ou par la pesée du papier qu'elle recouvre. En divisant la surface par la ligne de base, on obtient la hauteur moyenne qui correspond, d'après l'échelle de l'inscription, à la température moyenne de la journée.

On peut toutefois obtenir cette moyenne diurne d'une manière assez approchée par plusieurs procédés beaucoup plus simples. Il suffit en effet d'adopter trois heures d'observation convenablement réparties dans l'intervalle d'une journée pour que la moyenne des trois lectures corresponde assez exactement à la température moyenne diurne. Le tableau suivant donne les

combinaisons des diverses heures conjuguées que l'on peut adopter.

Heures de 3 observations donnant la température moyenne diurne

6 h. matin.	2 h. soir.	10 h. soir.
7 h. —	2 h. —	10 h. —
7 h. —	1 h. —	9 h. —
7 h. —	2 h. —	9 h. —
8 h. —	2 h. —	8 h. —
9 h. —	3 h. —	9 h. —
10 h. —	4 h. —	10 h. —

On peut encore, à l'aide de deux observations seulement, obtenir une température moyenne diurne assez approchée. On adoptera à cet effet les heures suivantes :

8 h. matin.	9 h. soir.
9 h. —	9 h. —
10 h. —	10 h. —

Enfin, la moyenne de la température maxima et de la température minima correspond assez sensiblement à la température moyenne diurne. On prend pour plus d'exactitude, au lieu de la relation $A = \frac{T+t}{2}$, qui peut s'écrire $A = t + \frac{T-t}{2}$, la relation $A = t + \alpha\left(\frac{T-t}{2}\right)$

A = température moyenne diurne. t = température minima. T = température maxima. α = un coefficient que l'on détermine en évaluant A avec l'enregistreur, pendant que les thermomètres à maxima et à minima donnent T et t. Cette détermination de α, faite une fois pour toute ou mieux pour deux saisons extrêmes de l'année, permet de calculer la valeur de la tem-

pérature moyenne avec une grande exactitude, d'après les valeurs des températures maxima et minima.

M. Masure a formulé les règles suivantes pour déterminer approximativement les températures moyennes des diverses parties de la journée :

La température moyenne d'une *matinée* est sensiblement la demi-somme des températures observées au lever du soleil et à midi.

La température moyenne d'une *soirée* est, à très peu près, la demi-somme de la température maxima et de la température au coucher du soleil ; plutôt au-dessus qu'au-dessous.

La température moyenne de la *nuit* est la demi-somme de la température au coucher du soleil et de la température minima de la nuit.

La lecture des thermomètres placés sous l'abri ou mieux l'examen des tracés de l'enregistreur révèlent pour les journées normales une *marche diurne* assez semblable dans la succession des températures. La température commence à s'élever dès le lever du soleil; elle ne tarde pas à croître rapidement jusqu'à midi, puis plus lentement jusque vers 3 heures du soir. A partir de cette heure, elle décroît plus ou moins lentement d'abord, puis très rapidement à partir du coucher du soleil et, quelques heures plus tard, elle a presque atteint son minimum. Elle continue, néanmoins, à baisser progressivement jusque vers le lever du soleil. Aux diverses saisons de l'année, l'heure du minimum suit le lever du soleil et se produit à une heure plus matinale en été qu'en hiver. L'heure du maximum, au contraire, est un peu plus tardive en été qu'en hiver.

Cette marche de la température de l'air s'explique très bien par l'accumulation progressive de la chaleur

dans les assises superficielles du sol. Leur température s'élève tant que le gain de chaleur par absorption

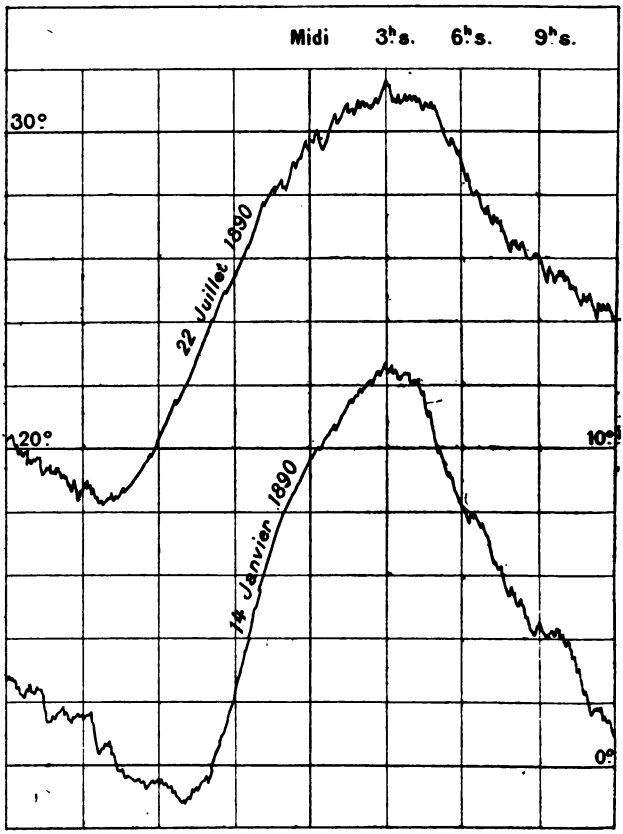


Fig. 51.— Variation diurne de la température.

des radiations est supérieure à la perte de chaleur par émission sous forme de rayonnement vers les espaces

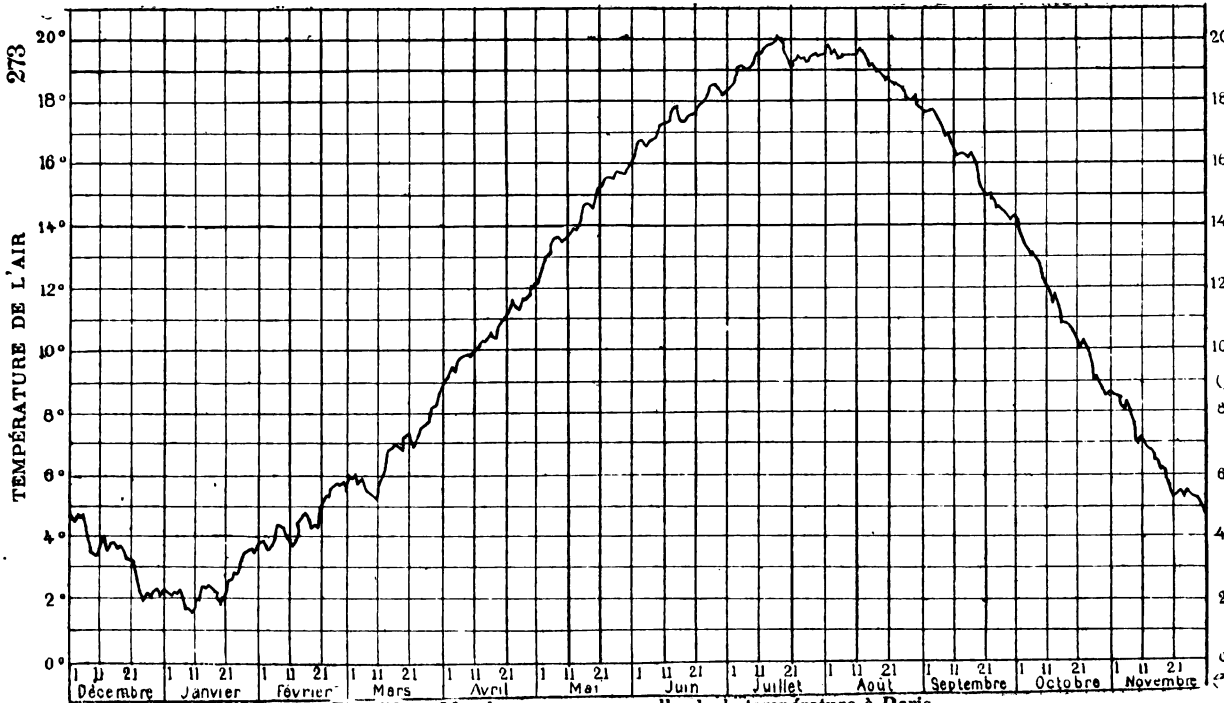


Fig. 52. — Marche moyenne annuelle de la température à Paris.

célestes. L'équilibre a lieu vers 2 à 3 heures du soir, c'est le moment du maximum, puisque jusqu'à cette heure la quantité de chaleur incorporée dans le sol n'a pu que progresser, et avec elle la température des assises superficielles qui se communique assez rapidement à l'air par conductibilité et aussi par la formation de courants d'air chaud qui s'élèvent de la surface du sol et se mélangent aux couches voisines de l'atmosphère. Il suit de là aussi que le maximum de température de l'air et son minimum succèdent toujours au maximum et au minimum de température du sol à la surface et ne les précèdent jamais.

La *marche annuelle* de la température de l'air est déterminée par un mécanisme analogue. La température croît depuis la fin du mois de décembre jusqu'au milieu de juillet. Dans les régions méridionales caractérisées par la prédominance des pluies d'automne, la température baisse plus rapidement après le maximum de juillet qu'elle ne s'élève de l'hiver au printemps. Les pluies d'automne déterminent en général un refroidissement brusque de l'atmosphère qui succède rapidement aux chaleurs de l'été.

La période des chaleurs de juillet est l'une des plus dures que traverse l'agriculteur dans le cours de l'année, c'est l'époque des longs jours, de la forte chaleur et du travail pressant. Le moissonneur est aux champs bien avant le lever du soleil ; la gerbe se lie au brûlant soleil de midi et les meules de blé s'élèvent encore sur le sol nu de la plaine après le coucher du soleil.

Le village est désert, brûlant, silencieux ;
Les jeunes sont aux champs tout le jour, et les vieux
Fuient la lourde chaleur en s'enfermant chez eux.
Nul souffle : le zéphyr retient sa fraîche haleine,
Les oiseaux somnolents ont cessé leurs chansons.
Tout se tait : geais, moineaux, alouettes, pinsons,
Merles rendus muets dorment dans les buissons,
Et le sommeil domine en roi toute la plaine.

Henri-Charles READ.

Mais après le travail vient le salaire, l'agriculteur ne compte pas ses peines, et si ses traits sont un peu tirés, si son visage s'est bronzé aux rayons brûlants de midi, il sait aussi que, plus il a travaillé, plus la moisson a été abondante. Juillet c'est l'époque des durs labeurs, c'est aussi le commencement de la saison où l'on est payé de ses peines. Pour parler le langage des économistes, « juillet c'est le midi de la campagne agricole ».

La détermination de la température moyenne diurne permet d'obtenir la *température moyenne mensuelle*, et la moyenne des températures mensuelles donne la *température moyenne annuelle*. Celle-ci diffère assez peu d'une année à l'autre, tandis que la progression des températures dans le cours de l'année présente des variations très importantes qui caractérisent les diverses années au point de vue de la température. Il en résulte des années à hivers plus ou moins rigoureux, à étés plus ou moins chauds. Le printemps et l'automne présentent des différences moins considérables, en général, dans la valeur de leur température moyenne. Les irrégularités que présente l'accroissement normal de la température surtout en hiver et au printemps (voir fig. 52), sont déterminées en grande partie par la sérénité variable du ciel qui limite la perte de chaleur par voie de rayonnement. Nous étudierons ultérieurement ces perturbations accidentelles de la marche normale de la température annuelle en examinant le mécanisme de l'émission de chaleur par voie de rayonnement nocturne.

Les températures des diverses saisons de l'année ne sont pas évidemment solidaires les unes des autres, et le froid de l'hiver ne *déteint* pas nécessairement sur les chaleurs de l'été. Il peut même se produire des étés très chauds à la suite d'hivers très rigoureux. Cette

compensation résulte même assez souvent du fait général que la température moyenne annuelle varie peu d'une année à l'autre et que, si l'hiver a été très froid, l'été est nécessairement plus chaud si l'année a réalisé sa température moyenne annuelle normale. Il peut arriver en effet, dans les climats méridionaux plus favorisés du soleil, que les froids intenses de l'hiver préparent une transparence plus grande de l'atmosphère pendant les saisons suivantes, d'où il résulte un accroissement de la chaleur reçue par le sol au printemps et en été.

Toutefois, dans les régions septentrionales, où le soleil brille moins énergiquement et moins longtemps, cette compensation ne saurait aussi bien avoir lieu, et la statistique des observations indique que les froids exceptionnels de l'hiver amènent assez souvent un refroidissement général de l'année.

C'est ce que semblent mettre en évidence les deux règles suivantes de M. Renou, déduites de la statistique des observations de la température de Paris :

1° Quand février est au-dessous de —7°, l'été n'atteindra pas sa moyenne et sera froid ;

2° Quand le minimum de l'hiver est inférieur à —13°, juin sera froid.

L'existence d'une liaison réelle plus ou moins nette entre les températures des diverses saisons d'une même année est en outre indiquée dans plusieurs dictons locaux :

Octobre chaud, février froid ; ou bien *tel octobre, tel mars* (Giovani Alton, Tyrol).

Hiver rigoureux, printemps humide (nord de la France).

Hiver rude, été chaud (Meurthe-et-Moselle).

Été pluvieux, hiver rigoureux (Moselle et nord de la France).

Ces dictons répondent certainement à des faits d'observation, mais les indications qu'ils donnent n'ont rien d'absolu. Tant qu'ils ne sont pas contrôlés par une statistique d'observations thermométriques précises, ils peuvent n'être que le reflet d'impressions personnelles et subjectives. Selon le tempérament des observateurs, on peut en effet être amené à trouver très chaud un été ordinaire qui succède à un hiver très rigoureux ; ou bien au contraire, si l'été est un peu brumeux, à lui attribuer des propriétés frigorifiques qui le rattachent aux froids de l'hiver précédent.

Ces erreurs des estimations de température par la méthode sentimentale sont très fréquentes et ont beaucoup accrédité l'idée de la détérioration de notre climat depuis le commencement du siècle. Les agriculteurs, qui, il faut bien l'avouer, sont rarement optimistes, n'échappent pas à cette impression générale qui résulte de l'incertitude de l'avenir et de la vision imparfaite du passé, et porte en général à penser que, du temps de nos aïeux, tout était certainement bien mieux que de nos jours. Comme, en outre, les récoltes pendantes satisfont bien rarement les désirs de leurs propriétaires, le temps et la température sont pris à parti : l'hiver a été trop froid, l'été a été trop chaud, et comme tout n'est jamais pour le mieux en ce monde et que, au fond, le froid est l'ennemi de nos récoltes, le climat va se refroidissant de jour en jour.

Et lorsque les agriculteurs, convaincus de la justice de leurs récriminations, interrogent un homme de science, on se livre à une enquête méthodique et approfondie des températures moyennes et l'on trouve que

réellement nous nous refroidissons d'année en année. Mais de combien ? De quelques dixièmes de degré par siècle. Il va sans dire que cette faible diminution, signalée à cent ans d'intervalle, est complètement insensible à l'observation physiologique; qu'elle ne peut avoir aucun retentissement appréciable sur le développement de nos végétaux. Mais il suffit que la science l'ait constatée, pour que l'on aille, répétant tous les jours, avec l'assurance que donne une statistique en dixièmes de degré, qu'il n'est pas étonnant si l'agriculteur est de plus en plus mal payé de ses peines. La faute en est à la température; elle diminue de jour en jour. Donnez encore quelques années de culture à cette idée et vous la verrez apparaître au Parlement pour justifier le relèvement des droits sur les céréales.

Ce que l'observation des statistiques établit nettement, c'est que pendant une période de dix années, par exemple, il pourra se rencontrer un assez grand nombre d'années froides, tandis que, dans une autre période de dix années, les années froides seront l'exception.

Obéissant aux indications de l'esprit de pessimisme, on ne tiendra pas compte de la série normale, mais on remarquera avec empressement la série à années froides et l'impression moyenne résultante sera que le climat se refroidit.

En l'absence de statistiques thermométriques dans les siècles éloignés, on a cherché une preuve du refroidissement séculaire dans la rétrogradation de certaines cultures vers le sud. La vigne se cultive, en France, de nos jours, à une latitude moins élevée que dans les siècles précédents. L'explication de ce fait peut être donnée, en dehors de la question des températures, par la remarque que: 1° le palais de nos ancêtres était moins

difficile que les nôtres pour accepter la verdeur des vins récoltés sous un climat plus froid ; 2° la difficulté des relations commerciales d'une province à l'autre obligeait les consommateurs à se contenter des vins récoltés dans la région.

La température moyenne varie peu d'une année à l'autre. Voici les valeurs obtenues par les observations diurnes poursuivies à l'École d'agriculture de Montpellier, pendant un certain nombre d'années.

Années	Temp. moy. annuelle	Années	Temp. moy. annuelle
1873	15°0	1881	14°4
1874	14°3	1882	14°2
1875	14°1	1883	14°1
1876	14°2	1884	14°4
1877	14°5	1885	14°3
1878	14°3	1886	14°7
1879	13°2	1887	13°9
1880	13°42	1888	13°7

La moyenne de cette série correspond à 14°2, et l'on voit que, si quelques rares années s'en écartent de près de 1° en plus ou en moins, la plupart présentent une température moyenne annuelle très peu différente.

Cette température moyenne annuelle sert de base essentielle à la comparaison des climats des diverses régions. Il est possible de l'obtenir par un procédé beaucoup plus simple que celui qui résulte de la détermination de la température moyenne de chaque jour de l'année.

On peut obtenir une première indication de la valeur de la température moyenne annuelle en prenant la

moyenne de deux mois de l'année distants de 6 mois et présentant une température voisine de la moyenne annuelle.

Pour la France, ces mois sont avril et octobre. A Paris, la moyenne d'avril est 10°0, la moyenne d'octobre 11°2. La moyenne annuelle sera $\frac{10°0 + 11°2}{2} = 10°6$, qui est précisément la température moyenne annuelle de Paris. A Montpellier, la moyenne d'avril est 12°93, la moyenne d'octobre 14°95. La moyenne annuelle serait $\frac{12°93 + 14°95}{2} = 13°94$. L'observation directe donne un nombre fort voisin 14°17.

Les variations mensuelles de température du sol cessent de se faire sentir à une certaine profondeur, et à un petit nombre de mètres de la surface existe une couche à température invariable et égale à la température moyenne annuelle.

Dans les régions où l'amplitude de l'oscillation thermique annuelle est faible, comme dans le voisinage de l'équateur, il suffit de creuser le sol à 0^m80 ou 1 mètre pour trouver la couche à température invariable. En France, la couche qui possède en permanence la température moyenne de l'année existe à 20 mètres environ de la surface. Mais l'erreur que l'on commet en substituant à cette température celle d'une couche quelconque intermédiaire entre 10 et 30 mètres est assez faible et donne assez exactement la température moyenne annuelle. La température des puits qui ne reçoivent pas directement les eaux d'infiltration superficielles et dont le niveau de la nappe aquifère oscille entre 10 et 30 mètres, est assez voisine de la température moyenne annuelle et fournit un moyen très commode de la déterminer.

DISTRIBUTION DES TEMPÉRATURES A LA SURFACE DU GLOBE

La température moyenne annuelle d'une région déterminée dépend d'une foule de conditions diverses qui, pour chaque point du globe, s'associent d'une manière différente et créent, à des distances souvent très réduites, des climats essentiellement différents. Ces conditions sont fort nombreuses et la connaissance de leur participation à la réalisation de la température moyenne annuelle explique les différences que présentent les climats de deux localités souvent fort rapprochées. Nous les passerons donc rapidement en revue, avant de jeter un coup d'œil d'ensemble sur la distribution des températures qui président essentiellement à la spécialisation des cultures et des procédés culturaux des diverses régions.

D'une manière générale, la température décroît régulièrement et progressivement quand on remonte de l'équateur vers le nord. L'augmentation de la *latitude* a, en effet, pour résultat d'augmenter l'obliquité des rayons solaires à la surface du sol et de diminuer la chaleur qu'ils versent dans l'atmosphère. Cette première influence est même prépondérante, elle indique la répartition théorique des températures et a donné naissance à la division du globe en *zones géographiques*, telles que la zone *glaciale*, la zone *tempérée*, la zone *torride*. En négligeant les autres actions qui déterminent la température moyenne annuelle ou plutôt en évaluant la distribution moyenne de la température le long des divers méridiens de l'hémisphère nord, on obtient le tableau

suivant qui résume la répartition de la température avec la *latitude* dans l'hémisphère boréal.

Répartition de la température avec la latitude

Latitude.....	= 90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
Température.	— 16°5	—14°	—8°9	— 1°	+ 5°4	13°6	21°	25°	26°6	26°5

La température décroît d'abord lentement avec l'accroissement de la latitude, puis, de plus en plus rapidement. La zone glaciale s'étend du 90e au 55e degré de latitude et comprend les régions à température moyenne depuis 0° jusqu'à 16°,5. La zone tempérée va du 55e au 30e degré de latitude et embrasse les températures de 0° à 21°. Enfin, la zone torride, partant du 30e degré, atteint l'équateur avec des températures variant de 21° à 26°,5.

Le second facteur qui préside à la distribution des températures est l'*altitude*. Au premier abord, il semble qu'en s'élevant au-dessus des brumes de l'atmosphère, on doive se rapprocher du soleil et recevoir ses rayons moins affaiblis. Cette première réflexion sur l'influence de l'altitude est entièrement vraie ; le sol des hautes régions reçoit plus de chaleur que la surface de la plaine. Mais, pour que la température moyenne annuelle s'élève, il ne suffit pas de recevoir, il faut encore garder ce que l'on a reçu, et c'est précisément ce que ne peut faire le sol des hautes régions. L'atmosphère qui le surmonte possède une grande pureté, et la chaleur obscure émise par le sol la traverse avec la plus grande facilité. La perte de chaleur est si grande pendant le jour et pendant la nuit que le maximum de température de l'air y est toujours inférieur à celui de la plaine,

et le minimum de température au lever du soleil est aussi plus bas. La grande transparence de l'atmosphère des hautes régions permet aux rayons calorifiques de la traverser sans l'échauffer. Ce résultat est encore dû à la faible densité de cet air dont la pression décroît avec l'altitude. Aussi, alors que le soleil brille dans tout son éclat, que ses rayons sont actifs au point de déterminer une brûlure partielle de notre épiderme en provoquant les coups de soleil, alors que les vêtements exposés au soleil deviennent brûlants et que le sol est relativement chaud, la masse de l'atmosphère reste froide. On croit avoir chaud, mais le fond de l'air est froid.

La mesure de la température des régions situées à diverses altitudes ou des couches d'air plus ou moins élevées atteintes dans les ascensions aérostatiques confirme cette indication de la théorie. La température décroît assez rapidement avec l'altitude. Dans un ciel pur, l'abaissement atteint 1° pour 189 mètres, et dans un ciel nuageux, 1° pour 194 mètres, entre les limites d'altitude de 0 à 3,500 mètres. L'abaissement de température est un peu plus rapide dans le voisinage du sol et on adopte en général, pour rapporter la température des diverses localités d'altitude différente à une même altitude, un abaissement de 1° par 180 mètres.

L'influence exercée par la latitude est due en grande partie aux variations de la chaleur reçue, l'action exercée par l'altitude résulte des différences de la chaleur émise. La première agit par l'inégalité d'absorption, l'autre par l'inégalité de l'émission des radiations. Ce sont les deux causes fondamentales qui régissent la distribution des températures. Mais, en dehors de ces deux facteurs de la température moyenne annuelle, il existe toute une série de conditions climatériques qui,

bien qu'exerçant une action moins générale, peuvent, dans certaines régions, devenir une cause essentielle de la valeur atteinte par la température moyenne annuelle.

Telle est en première ligne l'influence exercée par le *voisinage* ou l'*éloignement des océans*. L'eau de la mer intervient de deux manières pour régler la température des stations littorales. Elle agit, en effet: 1° à l'état liquide; 2° par ses vapeurs. L'eau présente deux propriétés physiques essentielles, une chaleur spécifique très élevée, un pouvoir réflecteur assez considérable. Grâce à sa chaleur spécifique élevée, il lui faut recevoir beaucoup de chaleur pour élever faiblement sa température. La chaleur spécifique de l'eau est 1,00, celle du sol, voisine de 0,25; il suit de là que, pour une même quantité de chaleur reçue, la température de l'eau s'élève quatre fois moins que celle du sol.

Le pouvoir réflecteur de l'eau est notablement supérieur à celui du sol. La surface des océans, surtout quand elle est tranquille, forme un miroir qui réfléchit partiellement les rayons du soleil sans les absorber. Toutefois cette moindre absorption est compensée par une moindre déperdition de chaleur pendant les périodes de refroidissement.

Enfin, tandis que la chaleur reçue dans une journée à la surface du sol se répartit dans une couche très limitée inférieure à 1 mètre dont elle élève beaucoup la température, celle qui tombe à la surface de l'eau brassée par les vagues de l'océan pénètre et se distribue à une assez grande profondeur.

Pour ces diverses raisons, la température s'élève moins vite et s'abaisse moins rapidement sur les mers que sur les continents. Les continents sont plus chauds en été et plus froids en hiver que les océans. Il n'y a pas

cependant compensation exacte dans le cours de l'année. «On ne peut perdre, dit-on, ce que l'on n'a pas reçu, et mieux vaut tenir que courir». Les continents bénéficient, au total, de leur absorption énergique de la chaleur du soleil, et la température moyenne annuelle à latitude égale est un peu plus élevée sur les continents que sur les mers.

Les océans jouent surtout un rôle régulateur pour la température des régions voisines. Ils s'échauffent moins et se refroidissent moins, et l'air qui les surmonte, en se mélangeant avec l'air de la côte, tempère les extrêmes de chaleur et de froid de ce dernier. Cette régulation s'opère aussi bien dans le cours de la journée que dans celui de l'année. Les régions voisines des océans possèdent un climat marin caractérisé par l'uniformité de la température dans le cours de l'année et par une moindre variation de la température pendant la journée. Les contrées situées au centre des continents possèdent, au contraire, un climat continental caractérisé par des extrêmes considérables de température entre le maximum et le minimum diurne aussi bien qu'entre l'été et l'hiver.

Influence des vents et des courants marins.— Si l'atmosphère et les eaux de l'océan étaient en parfait repos, les conditions de latitude et d'altitude définiraient assez exactement la température de chaque point du globe; mais les différences de densité créées dans l'atmosphère et dans les eaux de la mer par les variations de la température déterminent des phénomènes de transport qui tendent à uniformiser les températures à la surface du globe. D'une manière générale, ces courants de transport affectent la disposition d'un circuit fermé reliant les

pôles à l'équateur, prenant la chaleur de l'un pour l'échanger contre le froid de l'autre et réciproquement. Dans l'atmosphère aussi bien que dans les eaux, le courant chaud qui part de l'équateur est supérieur au courant froid qui revient des pôles ; il en résulte à la surface du sol un refroidissement des régions tempérées par les courants froids venant du nord, et, à la surface des océans, un réchauffement de ces mêmes régions par le courant chaud parti de l'équateur. Ces deux actions se combinent et tendraient à uniformiser la température si elles s'exerçaient avec la même intensité en tous les points du globe ; mais le lit des courants aériens et surtout des courants marins est essentiellement localisé. Le Mistral suit le relief de la vallée du Rhône dans son cours principal, et l'ensemble du courant d'air septentrional qui souffle sur les régions du Midi de la France converge vers les golfes de Lion et de Gênes, orienté par le relief des Alpes et des Pyrénées. Le Gulf-Stream, parti des côtes de la Guinée, se dirige vers l'Amérique et revient vers l'Europe qu'il aborde en se divisant en plusieurs branches principales. Le Mistral refroidit le littoral méditerranéen sur lequel il souffle, et le Gulf-Stream élève la température des côtes ouest de la France.

Chaque région du globe a ses vents dominants, chaque océan a ses courants marins, dont l'emplacement est assez exactement défini, et la distribution des températures est très sensiblement affectée par cette localisation des fleuves de chaleur ou de froid de l'atmosphère ou des mers.

Influence de l'exposition. — On entend par exposition d'un sol la direction que présente sa ligne de plus

grande pente par rapport aux quatre points cardinaux. Un terrain possède l'exposition Nord quand sa pente est dirigée vers le nord ; l'exposition Ouest, si elle regarde le couchant. Cette orientation des sols inclinés détermine une durée variable de l'insolation suivant l'exposition. Cette durée varie encore avec l'époque de l'année. De plus, tandis que pour un sol présentant l'exposition Sud, le soleil se trouve en face et envoie ses rayons les plus perpendiculaires à midi, cette condition se trouve réalisée à 9 heures du matin pour l'exposition Sud-Est et à 3 heures du soir pour l'exposition Sud-Ouest. Il résulte de ces particularités des différences très sensibles de température annuelle dans deux parcelles de terre contiguës présentant des expositions différentes et la marche diurne de la température subit des variations sensibles pour chacune d'elles.

Le tableau de la page suivante indique, d'après Haberlandt, quelle est la durée de l'insolation directe pour chaque exposition en supposant la pente du sol inclinée jusqu'à devenir verticale.

Ces différences dans la valeur et dans la distribution de l'insolation deviennent sensibles dès que la pente du sol atteint une certaine valeur. Les sols exposés au midi sont plus chauds que ceux exposés au nord et la vigne mûrit plus facilement ses fruits dans les coteaux qu'à la surface de nos plaines. Cette influence de l'exposition, pour être sensible, exige toutefois que le relief du sol présente une certaine étendue. Il existe au Jardin des Plantes de Montpellier une allée désignée sous le nom d'allée de la Montagne. Elle constitue, en effet, le faîte d'une butte artificielle allongée de l'ouest à l'est et constituée par une série de gradins exposés les uns au nord, les autres au midi. Cette montagne artificielle, qui n'ex-

Influence de l'exposition

Expositions	Durée de l'insolation à l'équinoxe	Durée de l'insolation au solstice d'été	Le soleil se trouve en face
Sud-est	Toute la matinée. Moitié de l'après-midi.	Moitié de la matinée. 1/3 de l'après-midi.	A 9. h. du matin
Sud	Tout le jour.	2/3 de la matinée. 2/3 de l'après-midi.	A midi.
Sud-ouest	Moitié de la matinée. Toute l'après-midi.	1/3 de la matinée. Toute l'après-midi.	A 3 h. du soir
Nord-est	Les 3 premières heures du matin.	Les 6 premières heures du jour.	Lever du soleil au solstice d'été
Nord	A aucune heure.	Les 3 premières heures du jour et les 3 dernières.	Jamais
Nord-ouest	Les 3 dernières heures du soir.	Les 6 dernières heures du jour.	Coucher du soleil au solstice d'été
Ouest	Toute l'après-midi.	Toute l'après-midi.	A 6 h. du soir
Est	Toute la matinée.	Toute la matinée.	A 6 h. du matin

cède pas 2 mètres de hauteur, devait, dans l'idée de son créateur, assurer aux végétaux qui y étaient distribués les bénéfices spéciaux de l'exposition Nord et de l'exposition Sud. Sans doute elle abrite des rayons directs du soleil les végétaux plantés sur les gradins faisant face au Nord, mais la température du sol et de l'air y reste très sensiblement la même sur les deux versants. La circulation incessante de l'air y rétablit rapidement l'équilibre de température détruit par l'inégalité des radiations absorbées.

Les *reliefs du sol*, alors même qu'ils sont très localisés, exercent néanmoins une action marquée sur les tempé-

ratures maxima et minima de la journée. Cette action est due à l'écoulement lent de l'atmosphère déterminé par les différences de densité résultant de ses variations de température. Si le sol présente une dépression, l'air dense et froid des régions avoisinantes ne tarde pas à s'y accumuler et, comme le sol continue toujours à émettre de la chaleur dans ce bas-fond, sa température décroît rapidement. Les gelées d'hiver sont plus à craindre en général dans les dépressions du sol que sur les coteaux.

Quant aux maxima de températures, ils sont en général un peu plus élevés dans les dépressions que sur les hauteurs. Le relief du sol constitue une assise et un abri qui, par les temps calmes, empêche le déplacement de la masse d'air surchauffée. La vapeur d'eau, qui est en outre plus abondante dans les bas-fonds, absorbe plus énergiquement la chaleur émise par le sol ou rayonnée par le soleil et augmente la rapidité de l'échauffement de l'atmosphère.

Toutefois chaque règle a ses exceptions, et les viticulteurs savent qu'il arrive parfois que la gelée respecte les bas-fonds et détruit au printemps la vigne sur les coteaux. La vapeur d'eau est la cause essentielle de cette irrégularité; il arrive en effet que, par sa présence à l'état de brume, elle forme au-dessus des bas-fonds un écran qui s'oppose au rayonnement nocturne et prévient le refroidissement qui s'exagère au sommet des coteaux.

De même, s'il arrive qu'un bas-fond présente une température maxima inférieure à celle des hauteurs de la plaine, cela tient à ce que les dépressions du sol sont assez souvent humides et que, ainsi que nous l'avons vu,

l'échauffement d'un sol humide est plus lent que celui d'un sol sec.

L'influence exercée sur le refroidissement nocturne de l'atmosphère par les dépressions du sol est la plus générale. M. Boppe, sous-directeur de l'Ecole forestière de Nancy, signale, dans un rapport sur les dégâts de l'hiver 1879-1880, un fait fort intéressant. Le vallon des fonds de Toul est coupé perpendiculairement à sa direction par un énorme remblai construit par Stanislas pour donner passage à la route de Paris. La plate-forme de ce remblai s'élève à 48 mètres au-dessus du fond de la vallée. En faisant l'inventaire des arbres tués par la gelée, on constata que du côté d'amont la zone des bois gelés s'élevait à partir du pied du remblai jusqu'à 20 mètres au-dessus du fond de la vallée, et qu'au contraire, du côté d'aval, il n'y avait pas un arbre atteint. On remarquait de plus que la limite supérieure de cette zone gelée n'était pas parallèle au fond de la vallée, mais qu'elle suivait une ligne horizontale.

J'ai eu l'occasion de constater, il y a quelques années, une gelée hâtive d'automne qui vers la fin de septembre gela sur souche les raisins des vignes de la partie basse de la plaine jusqu'à un niveau nettement indiqué. Les mûriers, situés à la limite de la nappe d'air froid, avaient leurs feuilles noircies jusqu'à une hauteur exactement déterminée et il était facile de reconstituer le plan de niveau de la masse d'air froid dont la température s'était abaissée jusqu'au-dessous de zéro, atteignant la limite à laquelle les tissus végétaux n'avaient pu résister.

L'action exercée sur la température par l'exposition résulte encore de l'abri qui peut en résulter contre les vents dominants de la région. Dans la région méditer-

ranéenne du Languedoc et de la Provence, les expositions Sud présentent une température notablement plus élevée que les autres expositions, parce que les terrains qui les présentent sont partiellement abrités des vents froids du Nord et en particulier du Mistral. Toutefois, bien que le relief du sol de la région littorale du Languedoc s'abaisse en pente douce vers le midi, il n'en résulte pas un bénéfice appréciable dans la valeur de la température annuelle. Le pente n'est pas assez prononcée pour empêcher les courants d'air froid du nord qui ont traversé le plateau central de modeler leur direction sur celle du sol. Les régions situées directement au pied des Cévennes sont seules un peu protégées ; la douche d'air froid leur passe sur la tête. Au contraire, la douceur exceptionnelle du climat de Nice et de la région littorale des Alpes-Maritimes provient en partie de l'abri constitué par leur exposition et l'existence des reliefs montagneux qui dominent ces régions vers le nord à peu de distance de la côte.

Le relèvement de la température dû à l'exposition se fait surtout sentir dans le périmètre restreint des abris locaux naturels et artificiels qui sont si fréquents à la surface du sol.

La température d'une cour de ferme, abritée de toute part contre les courants d'air froid, présente une température supérieure de plusieurs degrés à la température en plein champ. On ne saurait donc déduire la température d'un vignoble, même voisin, de la température réalisée dans une cour fermée.

Bien plus, même à l'extérieur de l'enceinte constituée par les corps de bâtiments d'une exploitation, la température se relève dans le voisinage des murs qui forment abri contre les vents froids ou contre lesquels ces

vents viennent se briser. A l'Ecole d'agriculture de Montpellier, nous avons pu observer, par une comparaison prolongée pendant plusieurs années, des différences de température de plusieurs degrés entre un thermomètre exposé au nord, à la limite nord du périmètre des bâtiments, et un thermomètre observé en rase campagne en dehors de l'abri réalisé par le relief des constructions avoisinantes.

Ces variations locales de température, dues aux abris naturels ou artificiels, sont utiles à connaître quand on se propose de faire choix d'un emplacement pour la mesure des températures, et, sans l'inconvénient qui en résulte pour la personne chargée des observations, la meilleure place pour un abri thermométrique serait non pas à proximité des bâtiments de l'exploitation, mais bien dans un champ éloigné et dépourvu de toute protection contre les courants d'air dominants.

Les abris locaux réalisés à l'aide de cordons de cyprès ou de palissades de roseaux dans la région du Mistral agissent aussi activement en déterminant un relèvement utile de la température qu'en s'opposant aux dégâts déterminés par l'action mécanique des courants d'air contre lesquels ils protègent les cultures.

Influence du revêtement du sol. — Nous avons signalé, à propos de la température du sol, le pouvoir absorbant inégal des divers terrains. Il en résulte des différences sensibles dans les températures maxima réalisées par l'atmosphère qui les surmonte. Mais comme, d'autre part, le pouvoir émissif est proportionnel au pouvoir absorbant, il en résulte aussi des températures minima plus faibles et la température moyenne d'un lieu est faiblement modifiée par les différences des pouvoirs

absorbants de la surface du sol. Les variations de température sont plus marquées entre un sol nu et un sol gazonné. La température d'une région boisée est toujours inférieure à celle d'une région aride. Cette différence résulte de l'absorption et de la transformation en énergie chimique ou en chaleur latente de vaporisation de la chaleur solaire absorbée par les organes aériens de la plante. La décomposition de l'acide carbonique et la fixation du carbone prélèvent, d'une part, une certaine quantité de chaleur, et, d'autre part, l'évaporation plus considérable de l'eau à la surface des périmètres boisés transforme en chaleur latente de vaporisation une partie de l'énergie calorifique du soleil qui n'est restituée à l'atmosphère que dans les régions souvent très éloignées, où la vapeur d'eau formée repasse à l'état liquide en dégageant une quantité équivalente de chaleur de condensation.

Conséquences qui résultent de la combinaison des diverses influences qui règlent la température d'un lieu. — Si l'on trace à la surface d'un planisphère les lignes qui réunissent les lieux d'égale température moyenne annuelle, on obtient un système de *lignes isothermes*. Si l'influence de la latitude était la seule qui déterminât la température moyenne, les diverses lignes isothermes seraient toutes parallèles entre elles et à l'équateur. Mais les influences diverses qui règlent la température rendent ces lignes sinueuses. Lorsque ces actions agissent pour abaisser la température moyenne annuelle, l'isotherme descend vers le sud ; lorsqu'elles ont pour effet de l'élever, les isothermes montent vers le nord.

Deux isothermes distantes d'un nombre déterminé de degrés de température se maintiennent également

distantes sur la carte tant que les causes qui président à la variation de température le long d'un méridien restent identiques. Si la variation de température le long d'un méridien devient plus rapide, les deux isothermes se rapprochent; elles s'éloignent dans le cas contraire. Les isothermes se rapprochent sur les continents; s'écartent sur les mers.

La présence d'une chaîne de montagnes traversant une isotherme perpendiculairement à sa direction l'oblige à descendre vers le sud pour retrouver une température aussi élevée. L'existence de courants marins à eaux chaudes barrant la route d'une isotherme la fait remonter vers le nord. Enfin, si les lignes isothermes se rapprochent à la rencontre d'un continent, ce qui oblige l'isotherme située au nord à descendre vers le sud dans les régions voisines de l'équateur, la température moyenne plus élevée des continents l'oblige, presque aussitôt, à remonter vers le nord. L'absorption de la radiation solaire, rendue plus intense par la présence de la vapeur d'eau sur le littoral des continents, contribue encore à ce relèvement vers le nord des lignes isothermes qui abordent un continent.

L'existence d'un haut plateau constituant le relief de certains continents, en déterminant un abaissement général de la température, oblige, au contraire, l'isotherme qui le traverse à rétrograder vers le sud.

D'une manière générale, les cartes d'isothermes tracées à la surface du globe renseignent pleinement sur la valeur de la température moyenne annuelle en un point quelconque, et combinées avec une carte physique indiquant les continents et les mers, les chaînes de montagnes, les altitudes, les courants marins, les vents dominants, elles renseignent en général sur les causes

qui, en chaque point, ont déterminé cette moyenne température.

Enfin, le tracé des lignes isothermes est complété par celui de deux autres espèces de lignes. Les unes réunissent entre eux tous les points du globe ayant même température d'été, ce sont les *isothères;* les autres joignent toutes les localités ayant même température d'hiver, ce sont les lignes *isochimènes*. Ces deux systèmes de lignes se coupent chacune plusieurs fois à la surface du globe, parce que les régions qui ont même température moyenne ont, en général, des températures d'hiver et d'été essentiellement différentes. En multipliant suffisamment le nombre de ces lignes isothères et isochimènes, on peut toujours obtenir le croisement d'une isothère avec une isochimène sur une localité déterminée. Ce croisement fait de suite connaître les températures extrêmes de ce point du globe. Si, en effet, l'isothère de + 20° s'y croise avec l'isochimène de —15°, on en conclut immédiatement que la température de l'été y est de +20° et celle de l'hiver de —15°.

Lorsqu'une ligne isothère descend vers le sud, montre cela que, à égalité de latitude dans la direction où on la suit, les étés deviennent de moins en moins chauds ; la conclusion inverse s'impose si l'isothère remonte vers le nord. Une ligne isochimène descend vers le sud lorsque les hivers deviennent plus froids à latitude égale ; elle remonte vers le nord dans le cas contraire. Les isothères descendent brusquement vers le sud en passant d'un continent à la surface d'un océan et les isochimènes remontent au contraire simultanément vers le nord.

L'*écart des températures* de l'hiver et de l'été indiqué par la rencontre d'une isothère et d'une isochimène dé-

finit une notion spéciale qui intervient dans la constitution d'un climat ; il indique sa douceur ou son exagération. Cet écart est, en effet, en relation très intime avec celui réalisé aux époques extrêmes de l'année où se produisent le minimum et le maximum annuel de température. Il est cependant plus exact de substituer, dans la définition de la douceur ou de l'exagération d'un climat à la différence des températures moyennes des saisons extrêmes, celle du mois le plus chaud et du mois le plus froid de l'année.

On désigne par *climat doux* ou constant celui des points où l'écart de température entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud est inférieur à 10° ; le *climat tempéré* répond à celui des régions où cet écart est compris entre 10° et 20°. Enfin, dans les *climats excessifs* ou extrêmes, cette différence est supérieure à 20°.

Si l'on établit la même classification des climats d'après les écarts des températures moyennes des saisons extrêmes, le climat doux correspond environ à un écart inférieur à 9°,5; le climat tempéré, à une différence intermédiaire entre 9°,5 et 18° ; le climat excessif, à une variation supérieure à 18° dans les températures de l'été et de l'hiver. Voici quelques exemples empruntés à un tableau publié par M. Angot et reproduit par M. Millot dans son Cours de météorologie:

	Janvier	Juillet	Différence
Iles Feroë.	3°,1	10°,7	7°,6
Iles du Cap-Vert .	23°,6	26°,5	2°,9
Cayenne.	25°,8	26°,1	0°,3
San-Francisco . .	9°,6	13°,8	4°,2
Batavia	26°,4	25°,3	1°,1

	Janvier	Juillet	Différence
	—	—	—
Paris	1°,8	18°,1	16°,3
Rome.	6°,9	25°,9	19°,0
Le Caire.	11°,6	28°,6	17°,0
Terre-Neuve. . .	— 4°,8	13°,4	18°,2
Yokohama. . . .	4°,4	23°,5	19°,1
Buenos-Ayres . .	24°,2	9°,8	14°,4
Madrid	4°,5	25°,2	20°,7
Vienne.	— 1°,7	20°,6	22°,3
Biskra.	11°,6	33°,2	21°,6
New-York. . . .	— 2°,2	23°,9	26°,1
Pékin.	— 4°,6	26°,1	30°,7
Moscou	—11°,7	19°,5	31°,2
Yakoutsk.	—43°,	16°,7	59°,7

Le climat des îles distribuées à la surface de l'océan devient d'autant plus doux qu'elles sont plus rapprochées de l'équateur. L'exagération du climat sur les continents est en relation avec leur situation plus ou moins centrale et la valeur de leur altitude. D'une manière générale, les climats *doux* sont aussi les *climats marins*, et les *climats excessifs* sont les climats *continentaux*.

Enfin, il existe dans le voisinage de l'équateur une série de points pour lesquels la température moyenne de l'hiver astronomique est rigoureusement égale à celle de l'été. On désigne quelquefois la ligne qui réunit ces points particuliers sous le nom d'*équateur anallothermique* ou équateur sans variation de température. En réalité cependant, la température y varie légèrement pendant les saisons intermédiaires, et il n'existe pas de points à la surface du globe sur lesquels la température

de l'air soit rigoureusement constante pendant toute la durée de l'année. Le climat sans variation de température est un climat idéal; plusieurs s'en approchent, aucun ne le réalise.

La température n'est évidemment pas le seul facteur qui caractérise les divers climats du globe; le régime des vents et de l'humidité intervient énergiquement dans la constitution des climats. Les climats extrêmes réalisés à la surface du globe résultent de l'association des divers éléments météorologiques; mais la température reste partout l'élément essentiel.

Parmi les climats les mieux caractérisés du globe, on peut citer : le climat du golfe du Bengale, *chaud et humide;* le climat du Sahara, *chaud et sec;* le climat du Soudan, *chaud avec alternatives de sécheresse et d'humidité*. Dans ces trois climats, l'humidité joue un rôle aussi important que la température et détermine des conditions de végétation tout à fait spéciales ; mais l'humidité et la sécheresse de ces climats sont elles-mêmes en partie sous la dépendance de la progression des températures. La sécheresse du Sahara dépend de l'échauffement exagéré d'un sol dénudé. L'abondance des pluies, qui atteignent jusqu'à 16 mètres par an sur le littoral du golfe du Bengale, résulte de l'évaporation considérable réalisée dans ce climat, à la surface des mers, par une température élevée. Enfin, dans le Soudan, les chutes de pluie coïncident assez exactement avec le passage du soleil au zénith qui a lieu sur l'équateur pour deux époques distantes de 6 mois et qui se rapprochent de plus en plus dans le voisinage des tropiques.

La température est donc le facteur essentiel d'un climat. Aussi MM. Reclus et Levasseur ont-ils, à juste

titre, subdivisé la France en six climats distincts correspondant à des zones géographiques assez nettement définies et à des températures moyennes de l'été, de l'hiver et de l'année suffisamment distinctes.

Le tableau suivant reproduit les éléments caractéristiques de ces climats :

	Température moyenne de l'année	Température de l'été	Température de l'hiver	Ecart
	—	—	—	—
1° Climat armoricain	11°7	16°8	7°1	9°7
2° Climat séquanien.....	10°	18°1	3°3	14°8
3° Climat vosgien.....	9°5	18°	1°5	16°5
4° Climat girondin.....	13°5	21°7	6°1	15°6
5° Climat rhodanien.....	11°8	21°1	2°3	18°8
6° Climat méditerranéen.	14°6	22°	5°8	16°2
Climat moyen français..	11°	19°	4°	15°

Le climat *vosgien*, qui comprend une partie de la région nord-est de la France, est le climat le plus froid ; c'est en même temps l'un des plus excessifs.

Le climat *rhodanien* est le plus extrême ; il doit cette particularité au voisinage des deux chaînes de montagnes élevées : les Cévennes et les Alpes, et à l'existence d'un courant d'air froid dominant, le Mistral, qui abaisse considérablement sa température en hiver en même temps que son absence en été, et la stagnation de l'atmosphère emprisonnée dans la vallée du Rhône permet la réalisation de températures élevées.

Le climat *méditerranéen*, qui comprend la partie méridionale du Languedoc et de la Provence, est le climat le plus chaud ; il doit sa température élevée à sa situation méridionale. Le voisinage de la mer a peu d'action pour uniformiser sa température dans le cours de l'année,

parce que ses vents dominants sont les vents du Nord et que les vents marins, qui uniformisent sa température, soufflent moins fréquemment, surtout à une certaine distance du littoral.

Le climat *girondin*, qui correspond à la région Sud-Ouest, bien que présentant un périmètre littoral moins développé que le climat méditerranéen, est plus doux que ce dernier. Les vents d'Ouest, qui soufflent de la mer et sont les vents dominants de cette région, tempèrent les extrêmes de température et, à latitude égale, relèvent sensiblement la température moyenne annuelle.

Le climat *séquanien*, qui s'étend sur le bassin de la Seine, doit sa faible température annuelle à sa latitude élevée ; il se rapproche beaucoup du climat moyen de la France. Bien que confinant au climat vosgien, il est beaucoup plus doux que ce dernier, à cause de la proximité de la mer, et participe au régime des vents d'Ouest comme le climat girondin.

Le climat *armoricain*, qui comprend la Bretagne et une partie de la Normandie, est le plus doux des climats français. Il doit cette douceur à deux causes essentielles : 1° le développement de son littoral qui l'entoure à l'Ouest, au Nord et au Sud ; 2° le régime des vents marins d'Ouest qui se réchauffent en passant à la surface de l'Océan, dans la région traversée par l'un des bras du courant d'eau chaude du Gulf-Stream. Ces conditions le placent à l'antipode du climat rhodanien. La température ne varie annuellement à Brest que de 9°7 ; elle oscille de 18°8 à Lyon. Les arbres à feuilles persistantes remontent sous ce climat jusqu'à une latitude assez élevée ; les camélias passent l'hiver en pleine terre sous le climat tempéré de Nantes.

Enfin, MM. Reclus et Levasseur distinguent un septième climat qui n'a pas d'individualité bien réelle. Les six climats précédents le limitent dans toutes les directions; il n'est ni l'un ni l'autre, et il est tous à la fois. Il est Auvergnat. Il comprend, en effet, l'Auvergne, le Limousin et la région du Morvan; il correspond aux limites du plateau central, et sa température annuelle, aussi bien que celle de ses étés et de ses hivers, concorde avec la moyenne des autres climats. C'est le climat central ou climat *limousin*. C'est aussi le *climat moyen français*.

BIBLIOGRAPHIE

Jamin.— Cours de physique.
Pellat.— Cours de physique.
Péclet.— Traité de la chaleur.
Angot.— Instructions météorologiques.
Renou.— Instructions météorologiques.
Becquerel. — Recherches sur la température du sol ; atlas météréologique de l'observatoire de Paris 1875-1876.
Crova.— Mesure de la température du sol à Montpellier.—Bulletin météorologique de l'Hérault, 1876.
Kaemtz.— Traité de météorologie, traduction Ch. Martins.
Millot.— Cours de météorologie professé à la Faculté des Sciences de Nancy.
Becquerel.— Les climats.
Marié Davy.— Physique et météorologie agricoles.

CHAPITRE V

COMMENT PLANTES ET ANIMAUX S'ACCOMMODENT DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR ET DU SOL

Les radiations directes du soleil exercent, nous l'avons vu, une action considérable, quelquefois même nécessaire, sur le développement des plantes et des animaux. Toutefois, ces derniers ont la faculté de se soustraire à l'influence de l'énergie directe du soleil, et les végétaux, par suite de l'alternance des jours et des nuits, poursuivent une partie de leur existence à l'abri de ces radiations.

Plantes et animaux, au contraire, sont plongés dans les radiations indirectes que nous avons appelées chaleur obscure; jour et nuit, ils vivent à leur contact et, de cette société intime contractée par leurs ancêtres depuis l'origine de leur développement, il en est résulté des liens et des lois invariables qui règlent leurs rapports avec les échanges qu'ils opèrent avec les radiations obscures des corps voisins. La température, qui préside à ces échanges incessants, apparaît par suite comme un élément essentiel du développement des uns et des autres.

L'animal, toutefois, possède encore une supériorité

sur la plante par l'indépendance relative qu'il manifeste vis-à-vis des variations de température. S'il fait froid, il s'abrite; s'il fait chaud, il cherche une station plus tempérée. Le végétal, au contraire, vit et se développe en général à l'endroit même où il est né. Il supporte la température de ce point du globe auquel il est invariablement attaché. Si la température est convenable, il prospère; si elle est trop basse ou trop élevée, il vit moins bien ou même il meurt.

Nous examinerons successivement comment la température intervient aux diverses étapes de la vie de la plante, qui correspondent en général à des opérations distinctes, mais il est utile auparavant d'indiquer quelle est l'action générale exercée sur le développement de la vie végétale par les variations de la température.

LA TEMPÉRATURE ET LA VIE DE LA PLANTE

On peut distinguer cinq températures critiques qui règlent essentiellement la vie de la plante.

La première, que nous appellerons *température inférieure mortelle*, arrête complètement les manifestations de la vie de la plante et, après qu'elle a cessé de se produire, le végétal ne peut recouvrer sa vitalité perdue.

La seconde est la *température inférieure de la vie*. Dès que la température s'abaisse à son niveau, les manifestations vitales disparaissent, mais la vitalité subsiste et, à partir d'elle, le végétal commence à se développer.

La troisième est la *température optima de la vie*.

Quand elle est réalisée, la vitalité du végétal passe par un maximum; il vit le mieux possible.

La quatrième est la *température supérieure de la vie.* A partir de cette température, les manifestations vitales disparaissent, mais la plante ne meurt pas.

La cinquième est la *température supérieure mortelle.* La plante périt de chaud comme de froid, et quand cette température est atteinte, les tissus sont impropres à revenir à la vie.

Mais qu'est-ce donc que la vie, sur laquelle la température exerce un empire aussi absolu ? «La vie, a dit un philosophe, est un tourbillon d'où les atomes entrent et sortent.» C'est, en effet, le mouvement qui manifeste la vie. Mais qu'est-ce, au fond, que la vie? La vie de la plante réside-t-elle dans le mécanisme d'horlogerie que représente la constitution intime de ses tissus, et une plante meurt-elle parce que la température, en s'abaissant, aura brisé l'un des rouages délicats de ce mécanisme? Ou bien la vie est-elle un mode de vibration spécial d'un milieu impondérable et invisible analogue à l'éther des physiciens, et les radiations de la chaleur obscure ou lumineuse auraient-elles le secret de le mettre en mouvement, peut-être même de déformer, en le brisant, le mécanisme délicat dont nous avons parlé, lorsque leur intensité dépasse certaines limites? La vie est-elle quelque chose de plus mystérieux encore dont l'étude des forces physiques ne nous aurait pas révélé l'analogue ?

Que l'agriculteur interroge à ce sujet un physicien ou qu'il questionne un chimiste, la réponse qu'il obtiendra pourra lui paraître plus ou moins satisfaisante pour l'esprit; elle ne sera jamais d'une clarté parfaite, et autant vaut-il faire de suite l'humble aveu de son igno-

rance que de risquer une ou plusieurs explications douteuses. Nous ne connaissons pas en réalité le mécanisme intime par lequel la température réagit sur la vitalité de la plante; mais les physiologistes ont déterminé assez exactement un assez grand nombre de conditions qui président à la réaction de la température sur l'existence des êtres organisés. Et comme, au fond, il importe pratiquement davantage de connaître quelles sont les actions exercées par la température sur les végétaux que de savoir exactement comment elles s'exercent, nous laisserons sans réponse les questions précédemment posées, et nous nous demanderons tout d'abord quelle est l'influence exercée par la température sur la *germination*, qui est le premier des phénomènes par lesquels la plante révèle sa végétation.

La vitalité d'une graine se conserve pendant de nombreuses années. On a vu germer diverses graines extraites des tombeaux gallo-romains et celtiques. Tant que l'atmosphère est sèche, la température paraît avoir peu d'action sur la conservation de cette propriété. Des graines peuvent supporter des froids secs de —80°, sans perdre leurs propriétés germinatives et conserver leur vitalité même après avoir subi pendant un quart d'heure des températures de +100° ou pendant une heure des températures de +65°. Au contraire, un séjour de une heure dans l'eau à la température de +53° suffit à les tuer.

La germination d'une graine dans le sol suppose l'intervention de trois facteurs : l'eau, l'oxygène, la température. Ce dernier élément n'est pas le moins important; il peut suspendre complètement la germination s'il est trop bas ou trop haut et faire varier son

activité dans des limites très étendues, suivant la valeur qu'il présente.

Le tableau suivant, emprunté au *Traité de Botanique* de M. Van Tieghem, reproduit, d'après les recherches de MM. Sachs, Köppen, de Vries et de Candolle, les limites inférieure et supérieure, ainsi que la température optima de germination.

	Limite inférieure	Température optima	Limite supérieure
Blé. . . .	5°	28°,7	42°,5
Orge.. . .	5°	28°,7	37°,7
Maïs.. . .	9°,5	33°,7	46°,2
Moutarde.	0°	27°;4	38°,2
Cresson .	1°,8	21°	28°
Navet . .	»	31°,5	42°,5
Lin . . .	1°,8	21°	28°
Chanvre .	»	31°,5	42°,5
Haricot. .	9°,5	33°,7	46°,2
Trèfle . .	5°,7	21°,2	28°
Pois.. . .	6°,7	26°,6	»
Lupin . .	7°,5	28°	»
Courge. .	13°,7	33°,7	46°,2
Melon.. .	»	37°,5	»

On peut voir par l'inspection de ce tableau que la température réalisée dans le sol au moment des semailles de nos principales plantes cultivées est toujours inférieure à la température optima. Il y a par suite intérêt à retarder l'époque des semailles du printemps lorsqu'en la différant de quelques jours, on peut compter sur un relèvement de la température sans trop réduire la période nécessaire à l'évolution complète de la plante. Il y a intérêt au contraire à hâter les semailles d'au-

tomne dans les régions froides surtout, afin que la végétation puisse s'effectuer dans de bonnes conditions. Il est utile de se rappeler notamment que le blé et l'orge cessent de germer au-dessous de + 5° et que, dans le voisinage de cette température, la germination est lente et imparfaite. L'enracinement de la céréale reste rudimentaire avant les grands froids de l'hiver et ceux-ci peuvent compromettre sa vitalité ultérieure.

La limite supérieure de germination est rarement atteinte dans le cours de l'année pour un certain nombre de plantes. Ce n'est guère qu'à la surface extrême du sol que des températures de 46° peuvent être réalisées pendant une partie de la journée ; le refroidissement nocturne assure chaque jour à la graine des conditions de température assez éloignées de la limite supérieure et favorables à la germination. Les graines de cresson, de trèfle et de lin sont celles qui peuvent être les plus influencées par la réalisation des températures voisines de la température supérieure de germination.

On peut remarquer encore que les températures limites inférieures de germination paraissent réglées en partie sur les températures réalisées dans les régions où ces cultures se développent. Le blé, plante du nord, germe dès 5° ; le maïs ou blé de Turquie, céréale plus méridionale, ne germe qu'à 9°,5. Le trèfle, qui supporte des climats plus rigoureux que le haricot, germe dès 5°,7, tandis que ce dernier ne se développe qu'à 9°,5.

De même la limite supérieure, avec laquelle la germination est compatible, s'élève pour les graines des plantes méridionales. Le maïs germe encore à 46°, l'orge cesse de germer à 37°,7, le blé à 42°,5. Toutefois, cette dernière relation est moins démontrée que la première. Il n'en est pas moins vrai que de deux choses l'une, ou

bien la nature, prévoyante, a bien fait les choses ; ou bien les plantes, instruites par l'expérience, ont appris à germer, suivant les climats, à une température capable d'assurer leur développement ultérieur.

Influence de la température sur la croissance. — Le phénomène le plus général de la vie de la plante, celui de l'accroissement de ses tissus, est intimement lié à la température. La croissance est maxima quand la température est voisine d'une valeur définie et spéciale pour chaque plante, c'est la température optima de croissance ; elle oscille entre 25° et 35°, c'est-à-dire à peu près entre les mêmes limites que l'optimum des propriétés germinatives, ce qui est assez naturel.

Température optima de croissance

Lupin et pois.	26°,6
Cresson et lin.	27°,4
Maïs	33°,5
Melon.	37°,2

En deçà et au delà de cette température, la meilleure possible, la croissance se ralentit et la production d'une température trop distante de l'optimum peut même supprimer le bénéfice de croissance pendant les premières heures où cette dernière température est de nouveau réalisée. Pour que la croissance d'une plante soit le plus rapide possible, il ne suffit pas que la température oscille de part et d'autre de l'optimum, il faut que la température optima soit constamment réalisée. Les brusques variations de température nuisent à l'organisme des plantes tout comme à l'organisme humain ; elles veulent, pour prospérer, une température à la fois avorable et constante.

Influence de la température sur l'absorption des liquides. — L'absorption des liquides, de l'eau contenue dans le sol, est un des phénomènes essentiels de la nutrition de la plante. Cette absorption s'opère en grande partie par les organes souterrains et par suite est soustraite à l'action des radiations directes du soleil. Elle obéit, au contraire, à l'action des radiations obscures et se règle sur la température du sol. Si cette température s'abaisse jusque vers 3° et 5°, les racines de tabac et de courge n'absorbent qu'une quantité d'eau insuffisante pour compenser une consommation même très réduite : ces plantes se fanent. Les racines de chou et de navet conservent encore leur activité vers 0° et l'on sait que le colza peut passer l'hiver dans des régions assez froides du nord de la France sans que ses feuilles se flétrissent, même pendant les jours de gelée. Il est probable toutefois qu'à cette température l'absorption est très diminuée, mais la dépense décroît simultanément avec la réduction de l'évaporation par l'abaissement de la température. A partir de ces basses températures, l'absorption augmente jusqu'à un optimum qui, pour une racine de saule, s'est présenté à 19° et à 16°,5 pour une racine de laurier-rose. La température optima d'absorption paraît inférieure à la température optima de croissance. Quant à la limite supérieure avec laquelle cesse l'absorption, elle n'a pas été exactement déterminée.

Un accident assez fréquent dans le vignoble méridional, le *folletage de la vigne*, qui se traduit par le flétrissement des jeunes sarments au printemps, paraît dû à ce que l'absorption de l'eau dans le sol étant trop faible parce que la température est encore trop basse, l'approvisionnement en liquide de la plante ne peut suffire à la

dépense qui s'exagère quelquefois à cette époque de l'année sous l'action des vents du nord secs et violents.

La température du sol préside encore à l'absorption des liquides nutritifs de la plante, en réglant certaines réactions chimiques qui fournissent aux racines les éléments utiles sous une forme assimilable. Les oxydations qui se produisent aux dépens de l'oxygène de l'air, en peroxydant les sels de protoxyde ou en brûlant les matières organiques, sont favorisées par une température élevée. Les transformations de la matière organique en sels ammoniacaux, dans la décomposition des engrais d'origine végétale et animale, soit qu'elles résultent d'une réaction purement chimique ou de l'activité d'un ferment organisé spécial, dépendent de la température du sol. Ces décompositions sont lentes dans un sol froid et humide.

La température règle en partie la solubilité des divers gaz dans le sol. L'acide carbonique y est particulièrement sensible et le volume dissous dans l'eau varie environ de 1 à 2 entre les limites de température de 20° et de 0°, ainsi que l'établissent les recherches de Bunsen.

Solubilité de l'acide carbonique dans l'eau

Température.	Solubilité.	Température.	Solubilité.
0°	1,798	12°	1,102
3°	1,569	15°	1,002
5°	1,450	18°	0,932
8°	1.281	20°	0,901
10°	1,185		

La variation du coefficient de solubilité avec la température est plus faible pour les autres gaz dissous dans le sol.

La température modifie également la solubilité de l'acide carbonique dans l'alcool de nos vins, et comme ceux-ci peuvent se saturer d'acide carbonique après la cuvaison et que la solubilité de ce gaz décroît avec l'élévation de la température, il doit se produire au printemps un dégagement supplémentaire d'acide carbonique si, à cette époque de l'année, le vin est encore saturé de ce gaz.

Solubilité de l'acide carbonique dans l'alcool

Température	Solubilité.	Température.	Solubilité.
0°	4,329	12°	3,281
5°	3,891	15°	3,199
10°	3,514	20°	2,946

Influence de la température sur la production de la chlorophylle. — Pour que la matière verte apparaisse dans les cellules du végétal, il ne suffit pas qu'elles reçoivent les radiations directes du soleil, il faut encore qu'elles possèdent une température suffisante. La limite inférieure de la production de la chlorophylle est même assez élevée pour quelques plantes. La température optima correspond à peu près à celle du maximum d'activité de la matière vivante. Les observations faites sur de jeunes plantes encore privées de chlorophylle ont donné les résultats suivants :

	Limite inférieure	Température optima	Limite supérieure
Orge . .	4°5	30°	37°5
Maïs. .	10°	35°	40°
Radis. .	10°	35°	45°
Pois . .	4°5	35°	40°

La limite supérieure paraît assez rapprochée de la température optima et l'action retardatrice exercée sur le phénomène par une radiation trop intense peut, dans certains cas, s'expliquer par la production d'une température supérieure à cette limite.

L'accident de la *chlorose* ou jaunissement de la vigne, plus accusé dans la première période de sa végétation annuelle, peut recevoir une explication assez rationnelle de l'action exercée par la température sur l'absorption des liquides par les racines et sur la formation de la chlorophylle. Nous avons vu que, dans la première période de l'année, la température du sol hésitait assez souvent à prendre sa marche ascendante. Il en résulte des conditions défavorables au développement des racines qui peuvent entraîner le jaunissement des organes aériens. MM. Viala et Ravaz ont proposé récemment une interprétation différente de ce phénomène, qui serait dû à la concentration variable du calcaire soluble dans le sol. Sans nier l'influence évidente de la constitution calcaire du sol, nous croyons que la température du sol exerce sur le phénomène une influence aussi importante. Il n'est pas démontré, en effet, que la concentration des liquides nutritifs en sels calcaires diminue dans le sol avec l'élévation de la température. Celle-ci diminue bien, il est vrai, la solubilité de l'acide carbonique qui sert de dissolvant aux carbonates ; mais, à 10°, il reste encore plus des deux tiers du volume d'acide carbonique soluble, à 0° et à 20° plus de la moitié. Il est assez probable que la saturation complète de l'eau du sol par l'acide carbonique est rarement atteinte dans les sols de teneur moyenne en matière organique, et, dans ce cas, la concentration du liquide en calcaire croîtrait au contraire avec l'élévation de la tem-

pérature, par suite de la réduction du liquide dissolvant par évaporation. La disparition de la chlorose en été s'explique, à notre avis, plus naturellement par l'élévation de la température du sol et de l'air, par le développement annuel des racines dans les couches chaudes et superficielles du sol et par l'accroissement de la durée diurne de l'insolation.

Influence de la température sur la décomposition de l'acide carbonique et la nutrition de la plante. — Le phénomène de l'assimilation du carbone est, comme tous les phénomènes de la vie de la plante, sous la dépendance de la température. Toutefois, les températures de la limite inférieure ont seules été déterminées, et encore dans un petit nombre de cas. On sait que les arbres résineux des montagnes, le mélèze, par exemple, commencent à décomposer l'acide carbonique dans le voisinage de 0°; les herbes des prairies entre 1°5 et 3°5. On sait aussi que certaines plantes des hautes montagnes se développent et assimilent le carbone sous la neige.

On ne saurait toutefois en conclure qu'elles savent opérer cette réaction au-dessous de zéro. Il est probable, en effet, que la température des tissus de ces plantes, qui absorbent mieux que la glace les radiations directes du soleil, est supérieure de quelques degrés à celle du milieu qui les recouvre.

Influence de la température sur la transpiration de la plante. — Une partie du phénomène de la transpiration obéit aux lois qui président à l'évaporation naturelle des liquides. La transpiration commence toutefois à une température très basse. Sur des rameaux d'if, elle est déjà sensible à —20°; elle va croissant, d'abord très

lentement, jusque vers 15°, puis de plus en plus rapidement jusqu'à 44° pour le lierre, c'est-à-dire jusqu'au moment où les autres fonctions de la plante commencent à souffrir. Dans une atmosphère saturée, la température n'a qu'une très faible influence sur la transpiration.

Lorsque la plante meurt, la transpiration de la vapeur d'eau qui se confond alors avec le phénomème physique de l'évaporation des liquides inertes croît considérablement; elle obéit alors à l'action plus directe de la température. La température de l'air règle donc en partie la vitesse de la dessiccation des foins à la surface de nos prairies quand l'outil du faucheur a déterminé la mort de la plante, et les conditions requises pour une bonne fenaison sont, on le sait, une température élevée accompagnée d'un beau soleil.

Influence de la température sur les diverses phases de la végétation de la plante et en particulier sur la maturation des récoltes. — Les diverses actions exercées par la température sur la végétation de la plante déterminent, en partie, la vitesse de son développement annuel. Comme, d'autre part, la progression des températures de l'air suit une marche assez régulière et assez identique d'une année à l'autre, il arrive que les divers stades de la vie de la plante correspondent en général à une certaine température, toujours à peu près la même, réalisée dans les cours de l'année. Les deux phénomènes sont parallèles, et si la marche de chacun d'eux était accusée par la marche d'une aiguille distincte sur un cadran, on lirait chaque année, pour chaque plante, la même température pour la même distance parcourue dans le cycle annuel de la végétation.

C'est en partant de cette remarque que l'on a déterminé pour différents végétaux les températures annuelles qui correspondent à leur feuillaison, à leur floraison, à leur maturation. Le tableau suivant donne pour la France ces températures pour quelques végétaux :

	Températures.		
	Feuillaison	Floraison	Maturité
Chèvrefeuille	3°	5°	»
Lilas (Montpellier) . . .	5°	13°	»
Vigne (Montpellier) . .	10°5	20°	19°
Pêcher (Montpellier) . .	10°	9°5	20°
Blé (Montpellier) . .	»	19°	23°

Ces températures ne peuvent être fixes pour chaque végétal que si l'hypothèse invoquée précédemment est suffisamment vérifiée. En réalité, les températures de chaque phase de l'évolution de la plante varient un peu d'une année à l'autre et surtout avec le climat. Les températures de floraison et de maturation s'abaissent en général quand on remonte vers le nord.

Les diverses opérations réalisées par le végétal pendant son développement semblent concourir vers un but unique : la maturation de ses fruits destinés à la reproduction de son espèce. C'est aussi le but final vers lequel converge une partie des opérations agricoles, et l'époque de la récolte de ses productions les plus importantes, le blé et la vigne, correspond à la date de leur maturité. On a recherché s'il existait une relation étroite entre les températures qui se sont produites pendant la végétation d'une plante et la date de sa récolte. Dans l'impossibilité de totaliser d'une manière rigoureuse l'action exercée par les diverses températures auxquel-

les a été soumis le végétal, on a admis une hypothèse approximative et pensé que l'action de la température était proportionnelle à sa valeur et à la durée pendant laquelle elle s'était manifestée. En additionnant, pour chaque jour de la vie de la plante, la valeur de la température moyenne diurne, on obtient la *somme des températures* de la végétation qui correspond au produit du nombre de jours par la valeur moyenne de la température.

Si l'on néglige l'action indépendante exercée par la radiation solaire et par les variations annuelles des autres conditions qui président au développement de la plante, on doit obtenir par ce procédé une somme constante pour chaque végétal. La somme de température obtenue depuis l'entrée en végétation jusqu'à la maturation serait une caractéristique de chaque culture; elle permettrait de prévoir la date de sa récolte et les climats sous lesquels la plante pourrait être acclimatée utilement.

Pour déterminer la somme de température nécessaire à la maturation d'une récolte, il faut déterminer la date de l'année où le végétal entre en végétation. Pour le blé, la végétation commence pour une température de 6° qui est réalisée à Paris vers le 15 mars, à Orange vers le 1er mars. La récolte a lieu, en moyenne, le 25 juin à Orange, le 1er août à Paris.

Les résultats obtenus par l'observation ont été les suivants :

Localités	Nombre de jours de végétation	Sommes des températures
Orange. . . .	117	1601°
Paris	138	1970°
Upsal	122	1546°
Lynden . . .	72	675°

La somme de température est différente pour chaque localité (1) ; elle se réduit considérablement et avec elle la durée de l'évolution de la plante pour les cultures de l'extrême nord. Cela tient à la différence de la répartition de la radiation solaire que nous avons précédemment indiquée et aussi à ce que l'action continue d'une température régulière réalisée sous les hautes latitudes est essentiellement favorable à la rapidité du développement de la plante.

M. de Gasparin, en faisant les sommes des températures observées à l'aide d'un thermomètre exposé au soleil, a trouvé des nombres plus rapprochés pour des localités différentes. La somme des températures, au soleil, était de 2468° à Orange et de 2433° à Paris.

La somme de température constante sous un climat donné, qui détermine la maturation, règle la date de la maturité de chaque récolte dans le cours de chaque année. Elle permet même de la prévoir à un moment quelconque de l'année, suffisamment rapproché de la date

(1) MM. Canu et Larbalétrier ont publié, dans l'appendice de leur *Manuel de météorologie agricole*, des tableaux très complets sur les températures de feuillaison, floraison, de maturation et sur les sommes de températures nécessaires à l'accomplissement des diverses phases de végétation des plantes.

moyenne de la récolte pour que l'on puisse prévoir les températures qui seront réalisées pendant cet intervalle. Si, par exemple, l'année a été froide et que le 1er août, à Paris, le blé n'ait encore reçu que 1830° au lieu des 1970° nécessaires à sa maturité, on en conclura qu'il reste à combler un déficit d'une somme de température de 140°. Si, d'autre part, on sait qu'à Paris la température moyenne de cette première période du mois d'août est en moyenne de 20°, il faudra encore 7 jours pour que la maturité soit complète.

M. Angot (1) a appliqué ces données à l'étude de la *date des vendanges*, et nous croyons intéressant de résumer ici le travail qu'il a exposé dans les Annales du Bureau central météorologique.

Sous le climat de Paris, la somme des températures nécessaire à la maturation du raisin est de 2800°. Si l'on arrive au 25 septembre avec une somme de 2720°, et que la température moyenne de la journée soit de 16°, il faudra encore 80 : 16 = 5 jours pour que le raisin arrive à maturité. La date des vendanges sera reportée au 30, et l'on conclura que l'année a été plus froide qu'année moyenne. La date des vendanges permet donc en quelque sorte de suppléer aux indications absentes des thermomètres dans les siècles passés. On pourrait même, en admettant que la date de l'entrée en végétation ne varie pas d'une année à l'autre, déterminer assez exactement la température moyenne qui correspond à la durée de la végétation de la vigne pour toutes les années dont on a recueilli la date des vendanges.

---

(1) Angot.— Etude sur les vendanges en France.— *Annales du Bureau central météorologique*, t. I, année 1883.

La répartition et la valeur des températures réalisées pendant le printemps et l'été, qui comprennent la période principale de la végétation de la vigne, sont essentiellement variables d'une année à l'autre. Il en résulte des dates très différentes dans l'époque des vendanges d'une même localité. C'est ainsi que le vignoble de Dijon présente des écarts de plus de 60 jours dans la date de ses vendanges. On vendangeait à Dijon le 25 août en 1420, le 26 octobre en 1436, le 28 octobre en 1816. A Salins, le 6 septembre en 1540 et le 11 novembre en 1816. Ces variations peuvent se produire à peu d'années d'intervalle; on a vendangé à Vesoul en 1822, 72 jours plus tôt qu'en 1816.

Quelle que soit l'extrême mobilité de la date des vendanges, on peut prévoir toutefois que si le soleil chauffe encore notre globe comme il le chauffait il y a des siècles; si, par suite, la température moyenne annuelle n'a pas changé, on devra trouver pour l'époque moyenne des vendanges une date assez peu variable d'un siècle à l'autre, et la vérification de cette remarque sera une réponse décisive aux allégations qui prétendent que notre globe va en se détériorant tous les jours, qu'il fait plus froid qu'il y a deux cents ans et que nous ne tarderons pas à voir les glaces du pôle envahir les vignobles de notre Midi.

Voici les résultats de la statistique : la date moyenne des vendanges à Dijon est le 25 septembre, de 1300 à 1400; le 25, de 1400 à 1500; le 27, de 1500 à 1600; le 25, de 1600 à 1700; le 28, de 1700 à 1800; le 30, de 1800 à 1879. Ce serait faire injure aux progrès de « l'Art de faire le vin » que de supposer que les vignerons de notre siècle n'ont pas eu la patience d'attendre cinq jours de plus que ceux du moyen âge une maturation

plus parfaite, destinée à assurer la qualité et la finesse de notre bourgogne contemporain ; il est plus naturel de penser que le faible écart observé entre les dates séculaires des vendanges trahit plutôt le progrès de la vinification que le refroidissement progressif de notre planète.

La date des vendanges dans les différents vignobles de France est soumise à l'influence de deux facteurs principaux: l'altitude et la latitude. Les départements échelonnés sous la latitude de Paris vendangent en moyenne le 4 octobre ; les vignobles distribués sous la latitude de Dijon, le 27 septembre ; les départements de même latitude que Montpellier, le 14 septembre. L'Hérault est, de tous les départements français, celui qui a fourni, à l'enquête du Bureau central, la date des vendanges de beaucoup la plus hâtive, 3 septembre ; immédiatement après lui viennent les Bouches-du-Rhône, 15 septembre.

L'échelonnement des vignobles à différentes altitudes dans les départements accidentés des Hautes-Alpes, Basses-Alpes et Puy-de-Dôme a montré que pour une augmentation d'altitude de 100 mètres, le retard de l'époque des vendanges varie de deux à trois jours. Cette loi ne peut toutefois se vérifier que pour des vignes de même exposition. Il est évident qu'un coteau bien exposé au soleil mûrira quelques jours avant la plaine située à une altitude inférieure.

Les années qui depuis 1750 ont amené des vendanges très tardives sur la plus grande partie de la France sont: 1805, 1816, 1821, 1879. L'année la plus tardive de toutes a été généralement 1816. Les années qui ont amené les vendanges les plus précoces à la fois dans toute la France sont: 1794, 1798, 1811, 1822, 1834, 1846,

1865, 1868. L'année la plus précoce de toutes a été généralement 1822.

La précocité de l'année 1822 est due surtout à l'excès de température du printemps. Pour les autres années, c'est le plus ou moins de chaleur de l'été qui a déterminé la précocité ou le retard de la maturation. Les époques observées concordent assez bien avec celles que l'on pourrait déterminer en cherchant quel est le jour de chacune de ces années où la vigne a achevé de recevoir la somme de température qui lui est nécessaire pour mûrir ses fruits.

On voit que la variabilité de la date des vendanges s'explique facilement et peut être, pour ainsi dire, déterminée par une équation algébrique. Il n'en est pas de même de la quantité et de la qualité de la récolte. L'abondance des vendanges paraît toutefois être liée à une élévation de la température du printemps de 1° à 2°,7 au-dessus de la moyenne et à la chute d'une quantité de pluie voisine de la normale. « En somme, conclut »M. Angot, l'abondance de la vendange paraît moins »due à un ensemble de conditions favorables qu'à l'ab»sence de conditions fâcheuses. » Cette conclusion, révélée par la statistique, rappelle assez la définition philosophique du Bien : « Le Bien, c'est l'absence du Mal. » C'est une heureuse médiocrité qui constitue nos années d'abondance.

La qualité de la vendange paraît se relier assez bien à l'excès des températures des mois de juin, juillet, août et septembre. Il n'y a pas toutefois coïncidence complète entre l'excès de la température de l'été et la qualité de la vendange, et bien souvent les accidents arrivés au début de la végétation (gelée, coulure), en supprimant une bonne part de la récolte, ont assuré une

qualité supérieure aux grappes qui avaient survécu· « Les contraires engendrent les contraires, le mal engendre le bien », et les gelées du printemps de 1811 ont donné le vin de la comète.

L'organisme des végétaux, par la sensibilité qu'il présente à l'égard de la température de l'air et du sol, peut donc, dans une certaine mesure, suppléer aux indications du thermomètre et en tous cas les compléter fort utilement pour caractériser le climat d'une région déterminée.

Plantes et arbres divers.

Cognassier du Japon.	Giroflée jaune.
Jasmin d'hiver.	Aubépine.
Perce-neige.	Epine noire.
Néflier du Japon.	Sureau.
Noisetier.	Lilas.
Saule-marceau.	Amandier.
Aune.	Cerisier.
Frêne.	Poirier.
Violette.	Cognassier.
Primevère jaune.	Pêcher.
Narcisse, fleur de coucou.	Cornouiller.
Pas-d'âne.	Arbre de Judée.
Fraisier.	Marronnier d'Inde.
Hêtre.	Chêne blanc.
Châtaigner.	Tilleul.

Végétaux exotiques ou spontanés, plus directement sensibles aux variations de température.

Myrte.	Cierge du Pérou.
Laurier d'Apollon.	Figuier de Barbarie.
Laurier-rose.	Dattier d'Afrique.
Oranger de Portugal.	Dattier des Canaries.
Eucalyptus.	Agave américain.
Caroubier.	Poivrier d'Amérique.

Influence de la température sur la distribution des espèces végétales. — La température de l'air, en déterminant les conditions les plus favorables au développement de chaque espèce végétale et en supprimant leur vitalité entre certaines limites, règle essentiellement leur distribution à la surface du globe. A la division de chaque hémisphère en zones *géographiques*, limitées par les cercles de latitude, il est donc naturel de substituer les limites assignées à la végétation par les lignes isothermes qui définissent les zones *climatériques*.

L'hémisphère nord peut se diviser en 6 zones climatériques de végétation. La première zone va de l'équateur à l'isotherme de 23°. Elle correspond à peu près à la zone torride des tropiques. Lorsque l'humidité de l'air ne vient pas tempérer l'exagération de la dessiccation du sol résultant d'une température élevée, le sol devient sec et brûlant, la végétation disparaît : c'est le climat du Sahara. L'abondance des condensations aqueuses combinées avec une température voisine de l'optimum développe, au contraire, une végétation luxuriante. Telles sont les forêts vierges de l'Amérique, les jungles du golfe du Bengale.

La deuxième zone s'étend de l'isotherme de 23° à celui de 20°. La sécheresse du climat y est moins générale; le palmier y mûrit ses fruits dans sa partie méridionale. Elle s'étend sur l'Algérie; la ville d'Alger la limite vers le nord.

La troisième zone va de l'isotherme de 20° à celui de 15°. C'est la région de l'oranger et de l'olivier. Elle s'étend en Europe sur l'Espagne, l'Italie et le midi de la France.

La quatrième zone est limitée par les isothermes de 15° et de 10°. C'est le climat de la vigne. Il s'étend sur la plus grande partie de la France. Sur le méridien de Paris, Perpignan la limite vers le sud et elle remonte vers le nord un peu au delà de Paris.

La cinquième zone s'étend de l'isotherme de 10° à celui de 5°. La vigne disparaît complètement; les herbages s'y développent en même temps que les forêts. L'atmosphère y devient plus humide et moins transparente. C'est le climat de l'Angleterre et de l'Ecosse.

La sixième zone de végétation va de l'isotherme de 5° à celui de 0°. La végétation se rabougrit dans sa partie septentrionale où elle n'est plus représentée que par quelques maigres arbustes. Le blé y accompagne l'homme jusque dans le voisinage de sa limite, partout où il peut compter, pendant une fraction suffisante de l'année, sur une température supérieure à celle qui correspond à la limite inférieure du développement des végétaux.

Les régions où prospère la culture des divers végétaux exploités par l'agriculteur sont définies en général par le tracé d'une ligne isotherme. Le tableau suivant indique les limites isothermiques de quelques cultures.

Le bananier s'arrête à l'isotherme de 24°.

La canne à sucre	—	19° à 20°.
Le caféier	—	18°.
L'oranger	—	17°.
Le dattier	—	14°.
L'olivier	—	13°,5.
La vigne	—	10°.

Néanmoins, la limite des cultures observée à la surface du sol n'est pas exactement parallèle au tracé des isothermes à cause des influences locales exercées par la nature du sol. Le châtaignier, par exemple, présente une *aire de dispersion* limitée à la fois par la température moyenne annuelle et par la nature géologique siliceuse du sol. Il ne saurait prospérer dans les terrains purement calcaires.

De plus, dans le tracé des isothermes, on néglige assez souvent les accidents locaux de température déterminés par le relief du sol, et les courbes isothermiques, reproduites dans nos atlas météorologiques, ne présentent pas toutes les inflexions que leur impriment en réalité les variations de température dues à l'altitude et à l'expostion. L'influence de l'altitude se traduit par une distribution altitudinale des cultures aussi tranchée que leur limitation en surface. Sur les flancs du Canigou, dans les Pyrénées-Orientales, l'olivier s'arrête à 420 mètres, la vigne à 550, le châtaignier à 800, l'orge et la pomme de terre à 1,640, le sapin à 1,930, le bouleau à 2,000, le pin à 2,430, le rhododendron à 2,540.

C'est encore la température qui règle l'*acclimatation* des végétaux, En réalité, cependant, le mot d'acclimatation, qui semble indiquer que le végétal sait se plier aux nouvelles exigences du nouveau milieu où il est transporté, est en partie inexact. La souplesse de l'or-

ganisme végétal est très faible. Sans doute, certaines plantes, transportées dans un climat différent, modifient la rapidité de leur période d'évolution ; sans doute aussi la sélection exercée sur la reproduction végétale laisse subsister les individus les plus compatibles avec les nouvelles conditions du milieu, et si l'espèce n'est pas détruite pendant la première année d'acclimatation, il y a quelque chance pour qu'elle survive définitivement. «On sait, fait remarquer M. Naudin (1), que, par le fait de l'industrie humaine, une multitude de plantes ont été transportées bien loin des lieux où la nature les a fait naître et qu'elles ont manifesté, sous l'influence de la culture, des flexibilités de tempérament qu'au premier abord on n'aurait pas soupçonnées. Toute l'agriculture en porte témoignage, car presque nulle part les végétaux qu'elle exploite ne sont indigènes du lieu même où elle les cultive. Ce sont des végétaux acclimatés, c'est-à-dire convenablement modifiés pour le but qu'on se propose.

»La *naturalisation,* que l'on confond souvent avec l'acclimatation proprement dite, en diffère en ce que certaines plantes se propagent loin du lieu de leur origine, sans le concours de l'homme, ou du moins sans que l'homme se donne la peine de les cultiver, souvent même malgré les efforts qu'il fait pour en arrêter la diffusion.» Cette extension de la zone de développement de certaines plantes, due à la réalisation en divers points du globe de conditions semblables offertes par les éléments climatériques, et en particulier par la température, est devenue fréquente depuis l'extension des

(1) Naudin et le baron von Müller. — Manuel de l'acclimatation des plantes. 1887.

relations commerciales des divers continents. Beaucoup de plantes nuisibles, de celles qu'on appelle *les mauvaises herbes*, se sont incorporées rapidement dans la flore locale d'une région où elles n'avaient pas jusqu'alors pénétré. Des plantes américaines se sont naturalisées en Australie et en Europe et se sont fait une large place au milieu des premiers occupants, bien que dernières venues.

C'est encore par un phénomène de naturalisation que certaines plantes cultivées et introduites artificiellement par l'acclimatation, telles que la vigne, peuvent retourner à l'état sauvage dans les régions où elles trouvent un climat favorable. Dans le midi de la France et en Algérie, la vigne cultivée s'est, sur bien des points, naturalisée en lambrusque de la forêt.

Toutefois, cette élasticité de l'organisme végétal est très réduite en ce qui touche la température. La plante, transportée sous un nouveau climat, demande que son nouveau milieu satisfasse à une double condition : 1° réaliser une température moyenne annuelle voisine; 2° limiter les variations annuelles de température entre les mêmes extrêmes que ceux de son pays d'origine.

Quand ces conditions sont remplies par un climat, on peut espérer que la plante que l'on veut y introduire pourra se développer avec succès, et les indications des températures moyennes et extrêmes de l'année ont pu fournir des renseignements utiles sur l'adaptation des cépages américains empruntés à des climats différents de l'Amérique du Nord et transportés dans les diverses régions du vignoble français. On ne saurait toutefois passer sous silence l'action aussi importante exercée sur l'acclimatation des végétaux par la nature du sol et l'humidité du sol et de l'air.

Le tableau de la page suivante, emprunté au chapitre de météorologie viticole du *Traité de viticulture théorique et pratique* du professeur Ottavio Ottavi, montre bien la faible élasticité de l'acclimatation d'un végétal tel que la vigne.

Le thé, originaire de Chine, a été acclimaté au Brésil, mais a échoué en France, soit dans le Nord, où la température est insuffisante, soit dans le Midi, où le climat était trop sec. Les Anglais ont trouvé le climat à thé sur les pentes suffisamment chaudes et humides à la fois de l'Himalaya.

Le quinquina, originaire du Pérou, s'est mal acclimaté en Algérie, mais les Anglais l'ont importé avec succès aux Indes et les Hollandais à Java.

Enfin, il y aurait lieu de tenir compte, dans cet examen des relations de la température avec la végétation, de ce que l'on pourrait appeler les *habitudes invétérées* des plantes. Ainsi que le fait justement remarquer M. Duclaux (1), «la croissance d'un végétal n'est pas seulement une question de chaleur, de lumière ou d'actions chimiques. Ce qui le prouve, c'est que là où toutes ces actions sont permanentes, la végétation n'en est pas moins périodique. A Madère, la vigne n'entre en végétation qu'à la fin de mars, lorsque la température est de 18°, et reste en repos l'hiver, où la température moyenne est de 17°5. Cette température serait bien suffisante, mais *quelque chose* arrête le végétal.»

Il paraît donc s'établir chez les végétaux des fonctions périodiques analogues à celles des animaux, et si ces fonctions sont régularisées et modifiées par les varia-

---

(1) Duclaux.— Physique et météorologie agricoles.

Température et qualité des vins

LOCALITÉS	Latitude	TEMPÉRATURE MOYENNE EN DEGRÉS CENTIGRADES							OBSERVATIONS
		Année	Hiver	Printemps	Eté	Automne	MOIS le plus froid	MOIS le plus chaud	
Bordeaux . . .	44°50'	13°9	6°1	13°4	21°7	14°4	5°0	22°8	Très bon vin.
Franckfort-s-M.	50.7	9.8	1 2	9.9	18.3	10.0	—0.4	10.8	
Paris	48.50	10.8	3.3	10.3	18.1	11.2	1.8	18.9	Vin médiocre.
Lausanne . . .	46.31	9.5	0.5	9.2	18.4	9.9	—1.0	18.7	
Genève.	46.12	9.7	1.2	9.5	17.9	10.2	—0.4	18.6	
Berlin	52.31	8.6	—0.7	8.0	17.3	8.8	—2.4	18.0	Vin à peine buvable.
Cherbourg . . .	49.39	11.2	5.2	10.4	16.5	12.6	3.2	17.3	
Londres. . . .	51.31	10.4	4.2	9.5	17.1	10.7	3.0	17.8	Pas de vigne.
Dublin	53.23	9.5	4.6	8.4	15.3	9.8	4.3	16.0	

tions périodiques et en général concordantes de la température, elles peuvent encore obtenir satisfaction, alors que les actions directes des agents atmosphériques extérieurs cessent de présenter un rythme concordant.

Nous avons vu déjà un exemple de cette indépendance dans l'épanouissement diurne de certaines fleurs influencées par la lumière, mais s'opérant néanmoins à date fixe en l'absence de toute lumière. Nous avons vu aussi que cette habitude acquise pouvait disparaître assez rapidement et que la plante se conformait peu à peu aux nouvelles conditions de lumière qui lui étaient offertes.

Enfin, si un sommeil hivernal paraît être nécessaire à la végétation des vignes de Madère, nous savons aussi que la réalisation des températures artificielles dans la culture des vignes en serres permet de régler à volonté la croissance de ce végétal et de produire la maturation de ses fruits à telle date que l'on juge convenable.

Bien que certains faits, analogues à ceux que nous venons de rapporter, établissent l'indépendance partielle des phénomènes de croissance des plantes avec les agents atmosphériques extérieurs, on avouera que l'analyse des relations des végétaux avec le soleil nous a révélé chez eux plus de marques d'asservissement que d'indices d'autonomie. Nous ne saurions donc admettre que la *météorologie n'est intéressante pour l'agriculteur que si elle s'emploie à la prévision du temps*. Si nous l'avions pensé, nous n'aurions pas écrit ce livre. Nous estimons plutôt que la connaissance exacte des divers climats du globe peut rendre de réels services à l'agriculteur en lui indiquant par avance les conditions possibles du développement d'une culture déterminée. La température, qui est l'élément essentiel des climats, apparaît comme

le régulateur fondamental du succès des spéculation végétales entreprises par l'agriculteur.

Culture géothermique. — On désigne sous ce nom les procédés de culture dans lesquels on modifie artificiellement la marche annuelle de la végétation en élevant la température du sol où se développent les racines des plantes. Dans une brochure dont le titre peut au premier abord paraître paradoxal : *Serres et orangeries en plein air*, M. Ch. Naudin a exposé, dès 1861, les principes généraux de l'application de la méthode.

Ce procédé de culture est basé sur les deux faits suivants : 1° Il ne suffit pas de chauffer les organes aériens d'une plante pour l'obliger à se développer ; il faut encore que le sol présente une température convenable. On peut hâter de quelques jours le débourrement et l'entrée en végétation d'une vigne dont les racines croissent à l'extérieur d'une serre pendant que ses sarments se développent à l'intérieur. Mais si la température du sol extérieur tarde trop à s'élever, la consommation dépasse l'absorption et le flétrissement se produit.

2° La période pendant laquelle les végétaux importés des régions plus méridionales dans un climat plus froid craignent de succomber à la gelée est en général de courte durée, et entre cette période et celle du développement normal annuel de la végétation il existe un intervalle de temps assez considérable pendant lequel on peut obliger la végétation à se développer dans un milieu aérien de température convenable si l'on peut élever artificiellement la température du sol. Nous avons vu, en effet, que, au printemps, la température du sol est inférieure à celle de l'air. De plus, la radiation solaire est assez intense et assez prolongée pour

que les plantes puissent utilement en bénéficier si l'absorption radiculaire est suffisante. De même entre l'automne et les gelées d'hiver il existe une période où l'utilisation de la température de l'air et de la chaleur solaire est imparfaite et pendant laquelle ces éléments peuvent recevoir une utilisation plus complète si la température du sol est suffisamment élevée.

L'application de la culture géothermique aux végétaux cultivés en plein air comporte par suite deux opérations essentielles, le *chauffage du sol* et la *protection temporaire* des végétaux pendant les froids de l'hiver.

Pour protéger les plantes méridionales des froids de l'hiver, M. Naudin propose d'installer au-dessus de leurs massifs des abris temporaires formés d'une charpente légère, recouverte de toiles de tente plus ou moins épaisses et plus ou moins isolantes, suivant la délicatesse des végétaux à protéger. Ces abris volants pourraient, sous le climat de Paris, être édifiés vers le 15 octobre et être supprimés vers le 15 avril. Pendant les belles journées d'hiver, on pourrait les ouvrir largement à l'action des rayons du soleil et leur assurer l'aération nécessaire pour éviter le développement des moisissures et l'étiolement des plantes par privation de lumière.

Pour obtenir une élévation économique de la température du sol, M. Naudin propose d'édifier des *cuves géothermiques*. Après avoir choisi un emplacement convenablement abrité des vents froids du nord et bien exposé au midi, on creuserait dans le sol un bassin de 1^{m} à 1^{m},50 de profondeur ; le fond en serait revêtu de briques et de matériaux mauvais conducteurs ; les parois seraient formées de deux murs de briques parallèles enfermant une nappe d'air isolante. Les végétaux soumis

à la culture seraient plantés dans de la terre ordinaire rapportée dans le bassin ainsi disposé, et des tuyaux de chauffage circuleraient dans le voisinage du fond de la cuve géothermique. Le chauffage pour les massifs géo-

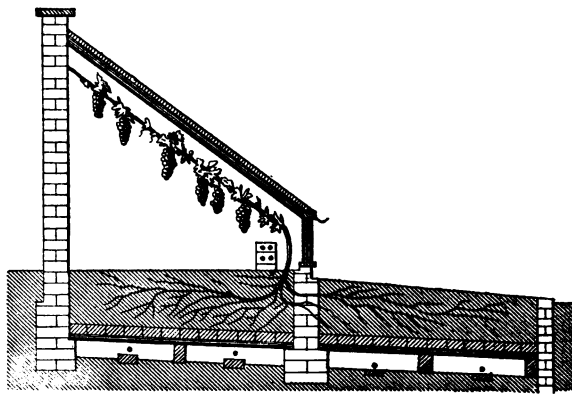


Fig. 53.— Chauffage du sol et abri pour la culture géothermique de la vigne.

thermiques de peu d'étendue pourrait être économiquement obtenu par la circulation de l'air échauffé par un foyer extérieur et dirigé dans des tuyaux en poterie. Pour des cultures plus étendues, on devrait employer le chauffage à l'eau chaude ou la vapeur.

Tels sont les principes généraux de la culture géothermique en plein air. La difficulté de créer des abris temporaires à la fois économiques et suffisamment protecteurs a été la pierre d'achoppement de l'application générale de la méthode ; mais le principe du chauffage du sol a reçu de nombreuses applications et plusieurs des détails de la réalisation de ce procédé cultural, signa-

lés par M. Naudin, ont été et pourraient encore être consultés avec fruit par les agriculteurs qui se livrent à la culture des primeurs.

La culture géothermique a reçu une réalisation essentiellement pratique dans la culture sur *couches* et sous *châssis*. Les *couches*, utilisées par les horticulteurs pour hâter la germination et activer la première végétation des plantes destinées à une culture ultérieure en plein air, sont essentiellement constituées par un lit de terre végétale riche reposant sur un lit de fumier frais ou de feuilles mortes. La fermentation lente des matières végétales détermine une élévation sensible de la température du sol. Il est utile de recouvrir la *couche* d'un châssis vitré afin de permettre l'accès des rayons du soleil et d'immobiliser la nappe d'air dans laquelle la jeune plante devra se développer. Le chauffage de l'air est emprunté en partie aux rayons du soleil et en partie à la température du sol de la couche. Afin de favoriser l'élévation de température du sol de la couche et aussi de créer une enceinte douée d'une moindre conductibilité, on creuse quelquefois, le long des parois, un fossé que l'on remplit de fumier frais. Ce chauffage latéral peut être renouvelé sans déranger l'intérieur de la couche; il porte le nom de *réchaud*.

L'emploi de châssis mobiles et le chauffage artificiel du sol sont appliqués sur une grande échelle dans la culture maraîchère des primeurs du midi de la France. Dans le Vaucluse notamment, on s'en sert pour le *forçage des asperges* et l'on arrive à les récolter près de deux mois avant celles cultivées en plein champ, soit vers le 15 février. Le procédé de culture sous châssis est appliqué aux plantations ordinaires en pleine terre, et la description suivante, donnée par M. Zacharewicz,

montrera la grande analogie de cette application avec la méthode géothermique signalée par M. Naudin.

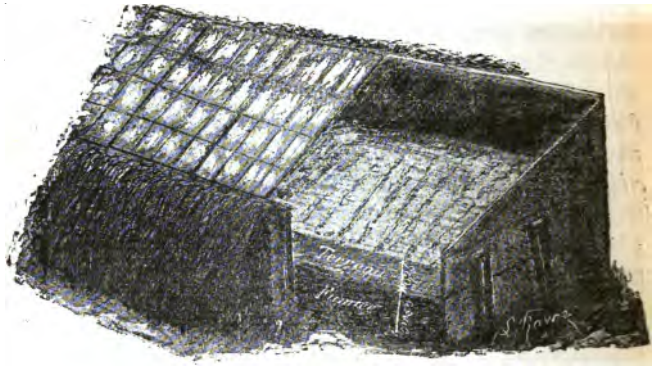


Fig. 54.— Couche avec châssis vitré et réchaud.

« Pour cette culture, on choisit des planches d'asperges de 4 ans. Au mois de novembre ou de décembre, on les entoure de coffres sur lesquels on place les châssis. En même temps, on répand sur les planches du terreau que l'on mélange au sol au moyen d'un rateau. On met ensuite une couche de $0^m,30$ de terre sablonneuse par dessus. »

On peut hâter le développement en creusant autour des coffres des fossés de $0^m,40$ de large et de $0^m,30$ de profondeur que l'on garnit de fumier fortement tassé jusqu'à la hauteur des châssis et que l'on recouvre de terre. En renouvelant ce fumier une seule fois, on pourrait récolter dès le mois de janvier. Le fumier ne serait pas perdu, pouvant être utilisé la récolte finie.

Du reste, malgré les frais supplémentaires déterminés par cette culture intensive, le résultat obtenu est rémunérateur. Les asperges produites au moyen du forçage se vendent à des prix variant d'un jour à l'autre, mais on peut évaluer à 15 ou 20 fr. la botte de 3 kilogr. pour toute la durée de la récolte.

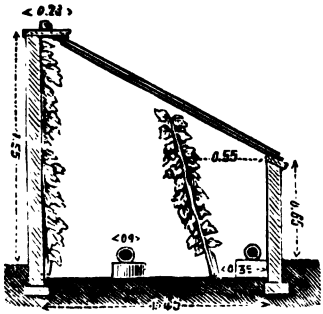


Fig. 55.— Abri temporaire pour la culture forcée de la vigne.

Les excellents résultats donnés par les quelques applications de culture géothermique que nous venons de signaler portent à penser que l'on n'a peut-être pas tiré de ce procédé tout ce qu'il pourrait donner, et le regret exprimé, en 1867, par M. Naudin, peut encore être formulé de nos jours.

« Une bonne partie de la Provence, du Bas-Languedoc et du Roussillon, fait remarquer M. Naudin, est couverte de collines rocailleuses à peu près improductives. Ce sont des espaces qui n'ont d'autre valeur que celle des maigres herbages sur lesquels paissent des troupeaux de moutons. Sans doute, c'est encore là un emploi du sol qui a au moins l'avantage de n'exiger aucune mise de fonds. Mais que l'on suppose ces collines dénudées transportées aux alentours de Londres, avec leur ciel bleu et leur ardent soleil, pense-t-on qu'elles restassent longtemps des lieux de dépaissance? Assurément, non ; ce maigre sol, divisé en parcelles, se vendrait à des prix exorbitants ; il se couvrirait de jardins et de villas, et deviendrait en peu d'années la

grande manufacture de fleurs qui inonderaient l'Angleterre et bientôt reflueraient sur le continent. Ce que nos voisins du nord ne manqueraient pas de faire, pourquoi ne l'essaierions-nous pas? Puisque la nature, chez nous, a fait la moitié des avances, sachons faire le reste et en profiter. »

Culture aérothermique. — On peut désigner sous le nom de culture aérothermique, par opposition à celui de culture géothermique, les procédés culturaux qui modifient la marche de la végétation en s'adressant à la température de l'air, où se développent les organes aériens du végétal. En pratique, la culture aérothermique est presque toujours en même temps géothermique; on ne peut, en effet, échauffer l'air sans élever la température du sol qu'il surmonte. Toutefois le but poursuivi dans les abris vitrés, *orangeries* ou *serres*, vise plus directement l'élévation de la température de l'air.

Le réchauffement de la masse d'air isolée de l'air extérieur par le vitrage des serres est obtenu par deux procédés différents qui sont assez souvent associés. Le premier moyen (1) résulte des propriétés thermiques du verre qui laisse entrer la chaleur lumineuse et arrête la chaleur obscure. Le vitrage emprisonne ainsi les radiations solaires, devenues radiations obscures, qui se trouvent ainsi prises au piège à peu près comme un rat dans une souricière. Nous reviendrons avec plus de détails sur le mécanisme de l'emprisonnement de la chaleur en étudiant dans le chapitre suivant les

(1) Voir chapitre VI, *Serres et Châssis*.

procédés susceptibles de *retenir* à la surface du sol la chaleur du soleil.

Le second moyen employé pour obtenir l'échauffement de l'air des serres chaudes consiste dans la création d'une canalisation alimentée par de l'air chaud, de l'eau chaude ou de la vapeur d'eau. De là trois procédés de chauffage artificiel de l'air où l'on veut assurer le développement des plantes exotiques : les calorifères à air chaud, les thermosiphons et les appareils à circulation de vapeur.

Les *calorifères à air chaud* employés pour le chauffage des serres consistent essentiellement en un foyer alimenté par un combustible (bois, houille, tourbe) chauffant une capacité close communiquant d'une part avec l'atmosphère froide extérieure, et d'autre part avec l'intérieur de la serre. La chaleur du foyer, en dilatant la masse d'air emmagasinée dans la capacité close qui lui est annexée, produit son ascension et détermine une circulation continue dans la canalisation qui débouche aux divers points de la serre. Ce procédé a l'avantage de déterminer une aération plus régulière en produisant une circulation d'air continue. On peut disposer une bassine d'eau sur le trajet de la canalisation ; l'évaporation produite par l'air chaud assure à l'atmosphère de la serre une humidité convenable.

Un des inconvénients des calorifères à air chaud, c'est que l'air se refroidit assez rapidement dans les tuyaux et que, quelque précaution que l'on prenne pour les isoler, on ne peut néanmoins compter qu'on pourra chauffer à plus de 10 ou 12 mètres de distance du foyer.

Le chauffage à l'aide de l'eau chaude par les thermosiphons remonterait au temps des Romains. Sénèque en donne la description suivante : « On fabrique des

serpentins dans l'intérieur desquels on ajuste des tuyaux de cuivre fort minces formant plusieurs spirales autour du feu et parcourant assez d'espace pour que l'eau qui y circule s'y échauffe : elle y était entrée froide, elle sort brûlante et elle ne perd rien de sa chaleur par l'évaporation, parce qu'elle est toujours enfermée. C'est à l'aide d'étuves entretenues par ces eaux chaudes qu'on force l'hiver à se changer en printemps et qu'on fait fleurir à contre-saison la rose et le lis. »

Les *thermosiphons* que l'on emploie de nos jours sont constitués par une chaudière chauffée par un foyer. Une conduite étanche et complètement remplie d'eau prend naissance à la partie supérieure de la chaudière, se développe dans la serre et fait retour à la partie inférieure de la chaudière. L'eau chaude s'élève à la portion supérieure de la chaudière, se refroidit dans la canalisation et fait retour à la partie inférieure du réservoir. Il y a circulation continue et transport de chaleur du foyer aux divers points de la conduite. Afin d'éviter la rupture de la conduite par la dilatation de l'eau, on la fait communiquer librement avec l'atmosphère, dans ses parties les plus élevées, à l'aide de tuyaux de plomb, dits *tubes d'expansion*. Ces tuyaux donnent en même temps issue à l'air qui s'introduit dans l'appareil par suite du renouvellement de l'eau de la chaudière toujours aérée et portée au voisinage du point d'ébullition. La pression de la vapeur est nulle dans la conduite et la température maxima réalisée dans le voisinage du foyer ne dépasse pas 100°. Il existe des thermosiphons à haute pression dans lesquels les tubes à expansion sont supprimés. Dans le modèle qui sert à chauffer une serre à orchidées du Jardin des Plantes de Paris, la température maxima, au départ, atteint 200° et

revient à la chaudière avec une température de 70°: on obtient ainsi un chauffage à longue portée et très énergique.

Les thermosiphons présentent sur les calorifères à air chaud l'avantage de pouvoir alimenter une longue conduite. De plus, à cause de la chaleur spécifique élevée de l'eau, ils continuent de chauffer la serre pendant plusieurs heures après que le feu s'est éteint ou ralenti. Leur emploi prévient la variation nocturne de la température dans les serres qui ne sont chauffées que pendant le jour.

Le chauffage des serres à l'aide des *appareils à production de vapeur* paraît remonter à la fin du XVIII^me^ siècle. On l'employait alors en Angleterre, mais la vapeur était émise directement dans le local à chauffer et la distribution de la chaleur était très imparfaite.

Les appareils à vapeur que l'on emploie aujourd'hui comprennent une chaudière chauffée par un foyer et communiquant par sa partie supérieure avec l'aller de la conduite. L'eau est portée à l'ébullition; la vapeur pénètre dans la canalisation et va se condenser à l'intérieur de la serre. L'eau de condensation fait retour à la chaudière par la branche de retour de la canalisation. Un flotteur placé à l'intérieur de la chaudière règle son alimentation et assure la constance du niveau de l'eau à l'intérieur. La canalisation doit présenter des robinets de purge à chaque extrémité pour chasser l'air à l'origine de la mise en train de l'appareil.

Le seul inconvénient des calorifères à vapeur d'eau est la vitesse de leur refroidissement quand le foyer vient à s'éteindre. Mais, avec un peu d'habitude, on peut, en garnissant convenablement le foyer, entretenir le fonctionnement de l'appareil pendant toute la nuit. Ce

mode de chauffage présente le grand avantage de réaliser une économie sensible de combustible et de pouvoir alimenter des canalisations très étendues. Dans l'établissement de M. Loddiges, à Hammersmith, la vapeur parcourt une longueur de plus de 1,000 mètres en chauffant de nombreuses serres où l'ananas est cultivé sur une grande échelle.

Le perfectionnement des procédés de chauffage des serres vitrées a developpé en Angleterre et en Belgique la *culture forcée* des fleurs et de divers fruits, en particulier de l'ananas et de la vigne.

La *culture de la vigne en serre* est assez répandue en Angleterre. C'est en 1860 qu'un habile opérateur, Meredith, y créa l'industrie de la culture artificielle des fruits. Il obtint notamment des raisins très développés, dont les grappes pesaient 8 à 10 livres anglaises. Depuis cette époque, les procédés de culture en serre ont été notablement perfectionnés; les grappes ont pu être portées, dans quelques spécimens d'exposition, jusqu'à 8 et 11 kilogrammes, et l'on peut obtenir la maturité à une époque quelconque de l'année.

Toutes les variétés de vigne ne se prêtent pas également bien à la culture sous abri vitré ; les variétés qui s'acclimatent le mieux de ce régime sont : le Frankenthal (Black Hamburg des Anglais) et le Chasselas de Fontainebleau. Les procédés de culture sont : soit la culture en pot, soit la culture en pleine terre.

Dans la culture en pot on consacre la première année qui suit le bouturage de la vigne à l'élevage en pot du jeune plant. Pendant la première phase de l'élevage on élève graduellement la température de l'air de 24° à 30°, puis on l'abaisse progressivement pendant que les pots sont transportés dans une couche chaude à 30° ou

32°. On détermine ensuite, vers la fin de l'année, l'aoûtement des sarments, en abaissant la température du sol à 25° ou 26° ; puis en enterrant les pots hors de la serre dans un lit de mâchefer concassé à un endroit

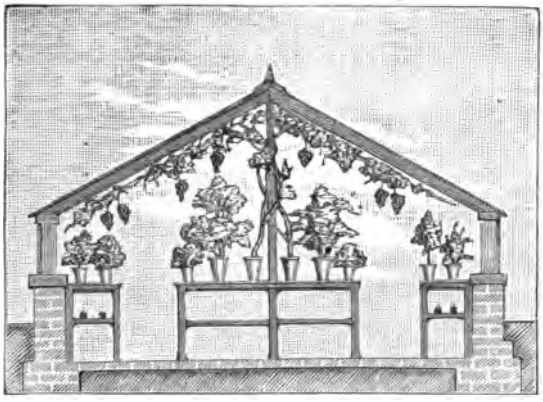


Fig. 56.— Serre pour la culture de la vigne en pot.

abrité et bien exposé au midi. A la fin de novembre, on rapporte les vignes dans la serre et on commence à les forcer ; elles fructifient l'année même.

Dans la serre de la Société royale d'horticulture de Londres, à Chiswick, les vignes sont plantées à demeure et les racines s'étalent en partie à l'intérieur de la serre, où se développent les sarments, et en partie à l'extérieur, dans un sol chauffé par un thermosiphon. Tantôt la souche sort du sol à l'intérieur de la serre, tantôt elle s'élève à l'extérieur et y pénètre latéralement. Les résultats très rémunérateurs obtenus par l'application de ce procédé ont fait songer à conduire sous châssis vitré des vignes qui n'avaient pas été plantées dans ce but. On

ne peut, dans ce cas, chauffer le sol à l'aide d'un thermosiphon, ce qui exigerait le remaniement des terres de la plantation, mais on recouvre le sol à l'extérieur

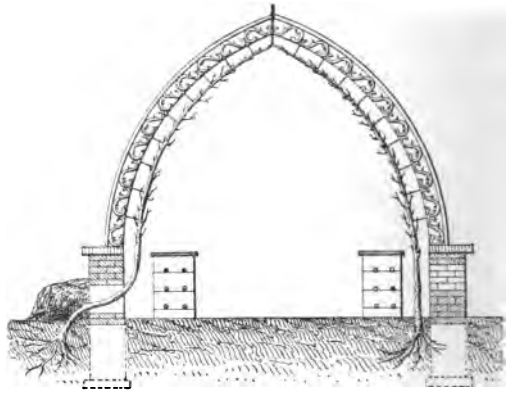


Fig. 57.— Serre à vignes de la Société royale d'horticulture de Londres.

de la serre improvisée par une couche épaisse de fumier frais de cheval que l'on renouvelle fréquemment.

Malgré cette précaution, il arrive que lorsque la floraison à l'intérieur de la serre se produit au commencement de mars, la température du sol n'est pas assez élevée et le raisin coule, bien que la température intérieure soit entretenue à 20°. L'installation d'un thermosiphon devient alors nécessaire et l'on est ramené à l'application de la culture géothermique en plein air avec abri.

Les serres pour le forçage de la vigne couvrent, chez différents horticulteurs anglais, des surfaces de plusieurs hectares.

M. Renouard, auquel j'ai emprunté la plupart des détails précédents sur le forçage de la vigne en serre, rapporte que, chaque matin, 34 chevaux conduisent les produits de l'exploitation de M. Philipp Lodds, des environs de Londres à Covent-Garden. Les produits de cette culture forcée en serre, fleurs et fruits, se répartissent entre Londres, Liverpool, Manchester et toutes les grandes villes de l'Angleterre.

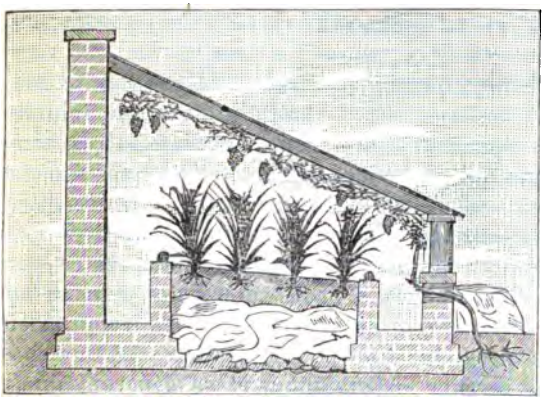


Fig. 58.— Serre anglaise pour la culture de la vigne et de l'ananas

La culture de la vigne en serre a été récemment développée en France, aux environs de Roubaix. Les nouvelles serres en voie de construction couvrent une surface de plusieurs hectares. On ne saurait trop féliciter MM. Cordonnier et Phatzer de cette heureuse initiative.

Un fait curieux à signaler, c'est que l'industrie de la culture de la vigne en serre comme primeur ne se soit développée que dans les régions septentrionales de

l'Angleterre, de la Belgique et du nord de la France, où la vigne ne peut venir en plein air. On peut y voir un exemple remarquable de la contagion du bon exemple, né lui-même à l'origine de l'émulation de la difficulté vaincue. Mais il est difficile de comprendre pourquoi cette industrie rémunératrice ne s'est pas encore établie dans les contrées plus favorisées du soleil, où la vigne prospère naturellement et où les frais d'édification des abris et du chauffage du sol pourraient être réduits à un minimum.

Température et fermentations.— A la limite inférieure de l'échelle du règne végétal et du règne animal se placent une série d'organismes rudimentaires microscopiques qui peuvent en partie être groupés sous la désignation générale de *bactéries* et de *microbes*. Ces êtres n'ont pas encore trouvé leur place définitive dans une classification ; les botanistes les oscillent entre les algues et les champignons, et les zoologistes peuvent les faire entrer dans leur classification en les rapprochant des infusoires. Quelques-uns de ces êtres se rangent nettement dans les champignons et se séparent du groupe des bactéries, tout en conservant une constitution rudimentaire et des dimensions microscopiques : tels sont les ferments alcooliques du vin et de la bière.

Tous ces *microorganismes*, dont le rôle dans notre existence s'affirme de plus en plus prépondérant, sont très impressionnables par les variations de température qui modifient essentiellement leur vitalité et leur action sur les milieux ou les organismes au sein desquels ils se développent. Les bactéries, toutefois, résistent mieux que les végétaux d'organisation plus élevée aux extrêmes de température. Von Frisch a pu abaisser la

température d'un liquide jusqu'à —100° sans tuer certaines espèces, à la condition de revenir lentement jusqu'à la température ordinaire. Un grand nombre résistent jusqu'à —30° ; le micrococcus du chloléra des poules succombe à — 35°.

En général, une température de 60° suffit pour tuer les cellules végétatives des plantes ; les bactéries, au contraire, supportent des températures bien plus élevées; on en connaît dont le maximum de végétation est à 77°. Ces organismes sont en outre bien plus réfractaires à la chaleur lorsque, au lieu d'être à l'état de vie active, ils se trouvent à l'état de vie latente sous forme de spores.

Les spores des bactéries résistent quelque temps à des températures de 100°, et Koch a observé la germination des spores de la bactérie du charbon après un séjour à 123° dans l'air sec. La chaleur de l'air humide les impressionne plus que la chaleur de l'air sec.

Chacun de ces microorganismes possède comme les plantes une température initiale de végétation, une température optima de développement et une température supérieure, à laquelle ils cessent de végéter et de se reproduire. La connaissance de ces trois températures est fort importante pour les hygiénistes et pour les agriculteurs. Si la végétation d'une bactérie est utile, on a intérêt à rapprocher la température de la réaction pour laquelle on l'utilise de son optimum de température. Si le développement d'une autre bactérie est nuisible, on tâchera, au contraire, de lui fournir des conditions de température défavorables à son développement, en se rapprochant de la température inférieure ou supérieure à laquelle elle cesse de végéter.

C'est dans ce but que nous signalerons l'action de la température sur les principaux microorganismes dont

le développement intéresse plus spécialement l'agriculteur.

L'oxydation des matières ammoniacales et la formation de nitrates à leurs dépens paraissent dues plus spécialement à l'activité d'un ferment spécial, *ferment nitrique* (*Micrococcus nitrificans*), dont l'existence paraît définitivement établie par les recherches de MM. Schlœsing, Müntz et Winogradsky.

La nitrification est presque nulle à 5°; elle atteint son maximum d'intensité à 37° et cesse à partir de 55°. La production des nitrates à 37° serait 10 fois plus considérable qu'à 14°. On s'expliquerait ainsi l'activité spéciale de la nitrification à la surface des sols brûlants des régions tropicales où le nitrate de potasse se produit en telle quantité qu'il forme parfois une couche blanche efflorescente à la surface du sol.

Le *Micrococcus ureæ* produit la fermentation ammoniacale des urines et paraît intervenir dans la transformation des matières organiques du sol en sels ammoniacaux assimilables. Son activité est de même que celle du ferment précédent sous la dépendance de la température.

MM. Hellriegel et Wilfarth ont récemment montré que les nodosités en forme de tubercules visibles sur les racines des légumineuses, trèfle, luzerne, pois, haricots, lupins, signalées par M. Prillieux, étaient peuplées de nombreuses bactéries dont le rôle était de fixer l'azote atmosphérique dans les racines de ces plantes. M. Bréal a montré que ce bacille était inoculable et que la plante sur les racines de laquelle on le développait acquérait un développement normal, tandis que les légumineuses cultivées à l'abri de cette bactérie restaient indéfiniment chétives; MM. Schlœsing fils et Laurent ont constaté

qu'il y avait une absorption d'azote atmosphérique correspondante.

Comme tous les microorganismes, la bactérie des légumineuses est sensible à l'action de la température du sol et celle-ci règle son développement optimum. D'autre part, l'association utilitaire contractée entre la bactérie et la plante entraîne évidemment une relation entre la fixation de l'azote et le développement des organes aériens des légumineuses. Comme ce dernier est sous la dépendance directe de la radiation solaire, il est juste de remarquer que le soleil exerce une action essentielle dans la fixation de l'azote atmosphérique par les plantes de la famille des légumineuses. Le procédé cultural mis en relief par M. Georges Ville, qui consiste à introduire économiquement l'azote atmosphérique dans la rotation des assolements par la culture des espèces végétales qui peuvent se l'assimiler, mérite donc, à juste titre, le nom de *sidération* que lui a imposé son auteur. L'astre du jour, le soleil, en est l'agent essentiel, et le microorganisme de MM. Hellriegel et Wilfarth pourrait être appelé la *bactérie de la sidération*.

Les bacilles du foin (*Bacillus subtilis*), qui se développent abondamment dans les infusions de foin et présentent une grande analogie avec le bacille du charbon sans en avoir les propriétés toxiques pour l'organisme, se développent depuis 6° jusqu'à 50°, avec un optimum vers 30°.

Le bacille du charbon ou du sang de rate (*Bacillus anthracis*) commence à se multiplier, par division, vers 15°; il le fait jusqu'à 43° et présente un optimum de croissance entre 20° et 25°.

Le redoutable microorganisme de la *tuberculose* ne croîtrait, d'après Koch, qu'entre 28° et 42°, avec un op-

timum de 37° à 38° ; il serait donc le mieux à son aise à la température du corps humain voisine de 37°, ce qui expliquerait son rapide développement et ses effets désastreux sur notre organisme.

La fermentation lactique, qui transforme le sucre de lait en acide lactique, est assurée par le développement du *Bacillus lacticus*. Son activité croît depuis une température assez basse jusqu'à 44°. De 44° à 53°, elle reste à peu près constante, puis elle décroît.

Lorsque le lait caillé cesse de se prêter au développement du ferment lactique à cause de son acidité et de l'absence d'oxygène, il se peuple rapidement d'un autre microorganisme, le *Bacillus butyricus*. A la fermentation lactique utile succède la fermentation butyrique nuisible ; la résistance de ce bacille à la chaleur n'est pas très considérable ; une ébullition de 5 minutes tue toutes les spores d'un milieu.

La coloration bleue qui se développe parfois très rapidement dans le lait tiré et mis en terrines est due au *Bacillus syncyanus*, bacille du lait bleu. L'optimum de température pour la formation de la matière colorante est de 15 à 18° ; elle est déjà retardée à 25° et ne se fait plus à 37°. On aurait donc intérêt pour empêcher cette altération, qui devient parfois épidémique dans les étables, à maintenir le lait à 37° ; mais on se rapprocherait malheureusement des conditions les plus favorables au développement du ferment lactique dont l'optimum est vers 45° ; on sait du reste que l'on facilite le caillage du lait en hiver, en chauffant le local où on l'a déposé. On ménage assez souvent sous le foyer de la grande cheminée des cuisines de campagne un petit réduit dans lequel les ménagères déposent les pots de lait dont elles veulent obtenir la coagulation rapide.

M. Duclaux a décrit sous la désignation de *tyrothrix* toute une série de bactéries qu'il a rencontrées dans la putréfaction ou la fermentation des matières albuminoïdes, en particulier de la caséine du lait. Ces diverses bactéries interviennent dans la fabrication des diverses espèces de fromage ; elles provoquent leur maturation ou déterminent leurs altérations. Leurs spores sont très résistantes à la chaleur. L'une des plus importantes, le *Bacillus* ou *Tyrothrix tenuis*, concourt à la coagulation du lait en sécrétant une présure spéciale ; l'optimum de température est entre 25 et 35°, les cellules végétatives ne périssent dans un liquide neutre qu'entre 90 et 95°, et peuvent supporter 100° dans un milieu faiblement alcalin. Les spores résistent à 115°.

Le ferment *acétique* transporte l'oxygène de l'air sur l'alcool du vin pour former le vinaigre. La culture de ce bacille (*Bacillus aceti*) est assez longue à s'installer dans le liquide et demande, pour avancer rapidement, une température de 15 à 20° ; son optimum serait de 25 à 30°. Des températures favorables sont encore réalisées en automne, au moment du cuvage, dans la région centrale de la France, et l'on sait que quand la cuvaison s'y prolonge trop longtemps, la fermentation acétique succède parfois à la fermentation alcoolique. En hiver, le vin craint moins d'aigrir que pendant l'été.

Le ferment *alcoolique* ne peut pas prendre place dans les bactéries ; il a été rapporté au groupe des *Schizomycètes*, parmi les champignons ; la multiplication de ses cellules se fait, en effet, par bourgeonnement et non plus par division comme chez les bactéries. Les ferments qui transforment le sucre en alcool appartiennent à diverses espèces. Chacune d'elles est caractérisée par une température optima différente. La levure haute

utilisée pour la fabrication de la bière se développe le plus utilement dans un liquide de 16° à 20°. La levure basse, au contraire, n'est jamais utilisée qu'au-dessous de 10° et on préfère même qu'elle n'agisse qu'à 5 ou 6°. Le ferment alcoolique du vin présente son optimum de développement vers 25°.

Il convient de remarquer à ce sujet que les températures que l'on doit chercher à réaliser dans les fermentations alcooliques ne sont pas toujours celles de l'optimum de développement, ce sont plutôt celles de l'optimum de fabrication. La meilleure fermentation d'une vendange n'est pas celle qui est la plus rapide, mais celle qui donne le meilleur produit. Il arrive aussi que lorsque la fermentation a marché trop rapidement, elle s'arrête brusquement et peut rester incomplète. Il se peut aussi que certaines réactions qui assurent au vin sa finesse et son bouquet soient moins bien opérées par le ferment, lorsque sa vie est trop intense. Il est assez probable que chaque nature de vendange demande des conditions de température un peu différentes pour donner la fermentation la plus utile. On sait, toutefois, que lorsque la température dépasse 25°, la fermentation alcoolique de la vendange s'opère dans de mauvaises conditions. Les viticulteurs algériens ont à lutter contre la température élevée de l'atmosphère au moment de la cuvaison et les procédés efficaces consistent à construire des celliers à basse température ou à refroidir les cuves vinaires où s'opère la fermentation.

Pasteur a montré que les ferments du vin épuisés par une végétation prolongée à l'abri de l'air pouvaient recouvrer leur vigueur et leur jeunesse en respirant plus activement l'oxygène. La puissance d'absorption

régénératrice d'oxygène pour les levures augmente jusqu'à 35° environ, reste constante jusque vers 60° et diminue au delà rapidement, par suite de la mort de la levure.

Le développement des ferments des diverses *maladies des vins*, ferment de la *fleur*, de la *tourne*, de la *graisse*, est, comme celui du ferment alcoolique, sous la dépendance de la température. Pendant l'hiver, leur vie se ralentit ; le vin est moins sujet aux maladies. Au printemps, l'élévation de la température excite la vitalité des ferments ; le vin paraît revivre comme la végétation ; c'est l'*époque de la fleur de la vigne*. Le soutirage du vin qui précède cette époque prévient en partie cette reprise de la fermentation des vins, qui peut devenir dangereuse si une espèce nuisible se développe plus abondamment. En été, l'élévation exagérée de la température peut amener dans les vins faiblement alcooliques le développement du ferment de la tourne ; le vin s'altère, émet des gaz ; *il pousse*.

Pasteur a montré qu'en chauffant le vin vers 50 à 60°, on tue tous les germes des fermentations acétiques, muqueuses et amères. C'est la base du procédé de conservation des vins par un chauffage modéré (*pasteurisation*).

LA TEMPÉRATURE ET L'ORGANISME ANIMAL

L'organisme des animaux, plus souple que celui des végétaux, peut continuer à se développer entre des limites de température plus étendues. L'homme, qui possède une grande élasticité à ce point de vue, peut

supporter quelque temps des températures allant de —56°,7 (Fort Reliance) jusqu'à +53° à l'ombre (Sénégal).

Un expérimentateur, Bladgen, a pu séjourner huit minutes dans une étuve à 129°. La température des animaux supérieurs dans des milieux à température aussi élevée varie peu pendant les premiers instants de l'expérience; l'activité de la transpiration détermine un refroidissement superficiel de la peau qui prévient un échauffement anormal de l'organisme.

Les organismes inférieurs, de masse plus réduite, ne tardent pas à prendre une température voisine de celle du milieu, mais ils sont doués d'une extrême résistance, quelques-uns du moins. Il semble résulter des expériences de M. Doyère que les tardigrades et les rotifères desséchés peuvent supporter des températures de 98° et 125°. Nous avons déjà constaté la même résistance chez les organismes végétaux inférieurs, agents de quelques fermentations.

Les animaux ne sont pas moins résistants à l'action du froid. On a cité des cas de retour à la vie après congélation, observés sur des sangsues, des crapauds, des grenouilles et des serpents. Il est toutefois difficile de savoir si la congélation à l'intérieur de ces animaux était complète. Mais cela est assez probable, parce que, chez les animaux à sang froid, la température du corps se règle assez bien sur celle du milieu ambiant et la suit à quelques degrés d'intervalle.

Néanmoins la vie animale pour chaque espèce est limitée entre des extrêmes de températures assez bien définies. Les mouvements de la substance vivante azotée (protoplasma) sont arrêtés par un froid trop rigoureux ou par une température voisine de +40°. Les

animaux supérieurs ne peuvent supporter des températures exagérées de 50° et au delà qu'autant que la température de leur organisme se maintient, à l'aide d'un mécanisme régulateur spécial, au-dessous de 40°.

Le maintien d'une température constante est une des conditions essentielles de l'activité vitale chez les animaux à sang chaud et le mécanisme qui assure la régulation de leur température est des plus ingénieux. On peut assez bien comparerl'organisme animal à la chaudière d'une machine à vapeur dont la température s'élève quand on augmente la consommation du combustible. La température de la chaudière cesse au contraire de s'élever si l'on donne issue à la chaleur, soit en permettant l'émission de la vapeur, soit en exagérant le rayonnement de ses parois. La température de la chaudière peut donc être entretenue constante, indépendamment des variations de température de l'air extérieur, par deux procédés: ou bien en faisant varier la consommation du combustible; ou bien en modifiant l'intensité de la déperdition de la chaleur. L'organisme animal fait concourir ces deux procédés à la régulation de sa température.

La production de chaleur dans l'organisme est liée à la plus ou moins grande activité des divers organes et en particulier des muscles. Il semble, au premier abord, que lorsque notre bras exécute un travail, sa température doive baisser, puisque le travail est l'équivalent mécanique de la chaleur. Il n'en est rien ; la chaleur apparaît au contraire dans l'organe qui travaille. Cela veut dire que, en même temps qu'une partie de notre énergie intérieure crée du *travail mécanique*, une autre partie crée, dans le même local, de la *chaleur*. Il arrive même que la quantité de travail créé correspond à une

quantité de chaleur beaucoup plus faible que celle qui apparaît simultanément.

Les deux quantités seraient dans le rapport de 1 à 5. Quelques physiologistes considèrent que le travail créé est une utilisation mécanique de la chaleur produite dans l'organisme et disent que le rendement de l'organisme animal est de 1/5, quelquefois 1/4. Il serait notablement supérieur à celui des meilleurs moteurs à vapeur et signifierait que 4 à 5 parties d'énergie-chaleur peuvent donner 1 partie d'énergie-travail en se transformant partiellement. L'organisme le mieux doué pour l'utilisation de l'énergie qui lui est fournie par les aliments serait celui qui aurait le meilleur rendement mécanique, de même que la meilleure machine à vapeur est celle qui, avec le moins de charbon, produit le plus de travail.

Mais il est plus rationnel d'admettre que le travail mécanique créé dans l'organe de l'animal n'est pas le résultat de la transformation d'une partie de la chaleur qui apparaît pendant son fonctionnement. Il y a simple *transformation simultanée et parallèle*. Parmi les éléments qui constituent les tissus de nos muscles, les uns fabriquent du mouvement mécanique, c'est-à-dire du travail; les autres du mouvement vibratoire intérieur, c'est-à-dire de la chaleur. Leur indépendance pourrait être absolue ; les uns pourraient se reposer pendant que les autres travailleraient, et *vice versâ*. Mais il est probable que ce ne serait pas leur intérêt commun ; aussi travaillent-ils simultanément et toujours de concert. Le travail de notre organisme coïncide avec une production de chaleur supplémentaire.

Les variations de la déperdition de chaleur par l'animal dépendent soit du mécanisme d'émission spécial à

'organisme, soit de la température du milieu extérieur ıt de sa conductibilité. Le système nerveux est le lien ui rattache l'organisme au milieu extérieur, au point de ue de l'émission de chaleur dont il est le siège.

Les nerfs vaso-moteurs peuvent agir sur les capilaires pour les dilater; ceux-ci reçoivent alors plus de ang, les combustions de l'organisme y sont plus ctives et la température tend à s'élever. Mais en même emps, quand les vaisseaux de la peau sont plus dilatés, elle-ci rayonne davantage; l'évaporation augmente l'autre part et il y a déperdition de chaleur. Les filets erveux, qui agissent sur la circulation de l'organisme, euvent ainsi amener à la suite d'une excitation, soit un 'elèvement, soit un abaissement de la température de 'organisme et équilibrer les variations de température aterne qui seraient engendrées par l'oscillation de la empérature dans l'atmosphère extérieure.

Nous empruntons aux *Nouveaux éléments de physiogie humaine*, de Beaunis, la page suivante, où sont apportés quelques exemples qui feront comprendre omment se fait l'*équilibration de la température*.

«Si la température augmente, l'activité du cœur s'acroît et fait passer plus de sang par les capillaires et surtout ar les capillaires de la peau, dont les artérioles se dilatent; en résulte une déperdition plus grande de chaleur par ı peau, dont la conductibilité est augmentée; en outre, ı sueur est sécrétée en abondance et son évaporation mène aussi une perte de calorique; en même temps, es respirations ont plus d'ampleur et le sang, qui traerse les capillaires des vésicules, se refroidit dans les oumons; enfin, la sensation de chaleur que nous éprouons nous porte à augmenter encore la déperdition de

chaleur par des vêtements légers bons conducteurs, par des bains, etc.

»Quand la température baisse, les phénomènes inverses se produisent ; les artérioles cutanées se rétrécissent et ne laissent passer par la peau, surface réfrigérante par excellence de l'organisme, que le minimum de sang indispensable à son fonctionnement. Le sang reste dans les parties plus profondément situées et peu accessibles au refroidissement ; nous diminuons encore la déperdition de chaleur par des vêtements mauvais conducteurs, par l'échauffement artificiel de l'air qui nous entoure ; enfin nous augmentons la production de la chaleur par l'exercice musculaire et par une alimentation abondante, riche en hydrocarbonés et en corps gras».

On peut facilement déduire de ce mécanisme régulateur de la température les procédés pratiques suivants pour se garantir du chaud ou du froid. Il y a longtemps du reste que les agriculteurs ont su les appliquer. Si vous avez froid aux extrémités de votre individu: frottez-vous les mains et battez la semelle afin de ranimer la circulation superficielle. Si vous vous sentez froid dans le dos : marchez, courez ou travaillez. Le fonctionnement de vos muscles sera toujours accompagné d'une production simultanée de chaleur. Travailler quand on a froid en hiver, tel est le procédé général employé par les agriculteurs, et nul ne sait mieux qu'eux que si l'on prend froid à ne rien faire, on peut en général se défendre des conséquences funestes des abaissements de température en se livrant à un travail régulier et continu. Il importe cependant de ne pas dépasser une certaine mesure ; un travail trop énergique augmente momentanément la transpiration et l'activité de la circu-

lation ; mais si on l'interrompt brusquement, le refroidissement ultérieur produit par l'évaporation de la sueur et le ralentissement de la circulation qui succède à un excès d'activité placent l'organisme dans des conditions défavorables pour résister ultérieurement à l'action du froid. On dit assez communément, dans nos campagnes, que l'on a pris un *chaud et froid*, et au fond c'est tout aussi vrai et plus expressif que de dire que l'on a eu un *refroidissement*.

Malgré la perfection du mécanisme régulateur dont nous disposons pour assurer la constance de notre température, elle varie en réalité très légèrement pendant le cours de notre existence en oscillant autour de 36°,9. La température intérieure de l'enfant est supérieure de quelques dixièmes de degré à celle de l'adulte. Nous nous refroidissons avec l'âge.

Notre température s'élève un peu après les repas, mais très faiblement, lorsque nous sommes en bonne santé ; elle s'abaisse par le jeûne prolongé. Le travail intellectuel augmenterait la température si la hausse n'était annulée par le déficit provenant du repos et de l'immobilité que nous observons en général quand notre intelligence se livre à un travail un peu absorbant.

Notre température est légèrement influencée par celle du milieu où nous nous mouvons, surtout si ce milieu est bon conducteur. Les variations de température déterminées par l'air sont très faibles, mais les bains peuvent l'élever ou l'abaisser très sensiblement. Cette particularité, due à la conductibilité de l'eau et à la chaleur spécifique élevée, a trouvé une application dans le traitement de la fièvre typhoïde par les bains froids. La variation diurne de la température de l'air a un faible retentissement sur la température de notre

corps. Le maximum de température de notre organisme s'observe de 5 heures à 8 heures du soir; le minimum, dans la nuit, de 5 à 6 heures du matin. Les heures du maximum et du minimum ne coïncident du reste que partiellement avec celles de l'atmosphère et les fonctions périodiques de l'organisme, veille ou repos, interviennent aussi dans le phénomène. Les maxima ne diffèrent du reste des minima que de quelques dixièmes de degré. En été, la température du corps n'est élevée que de 0°,1 à 0°,2 au-dessus de celle qu'il possède en hiver.

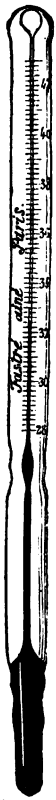


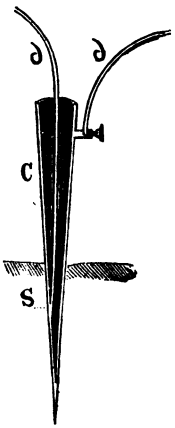
Fig. 59. Thermomètre médical.

La température de notre organisme est en outre très variable avec les régions du corps, et les parties superficielles, l'épiderme, peuvent présenter des températures inférieures ou supérieures de plusieurs degrés à celles de l'intérieur du corps.

Les thermomètres médicaux sont spécialement construits dans le but de permettre la mesure exacte de la température du corps humain. Leur réservoir est de petite dimension, afin de se mettre rapidement en équilibre de température avec l'organe dans lequel il est plongé. Ils présentent au bas de leur tige un étranglement et fonctionnent comme les thermomètres à maxima. Les degrés sont subdivisés en dixièmes et la tige graduée est enveloppée d'un tube, afin de lui conserver toujours sa netteté et de permet-

re, s'il y a lieu, le lavage du thermomètre après cha-ue opération.

Pour les recherches de précision et pour déterminer a température des diverses régions de l'organisme, les



C. ROBERT

g. 60.— Aiguille thermo-électrique de d'Arsonval.

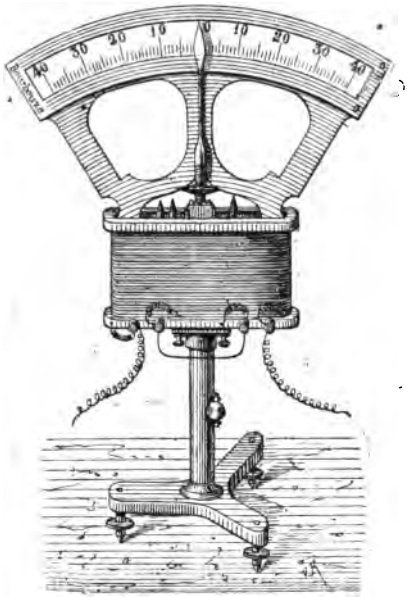


Fig. 61.— Galvanomètre pour la mesure des courants thermo-électriques.

ıysiologistes font usage d'un élément thermo-électri-ue qui peut se disposer en forme d'aiguille à pointe ousse (aiguille de d'Arsonval) et pénétrer facilement l'intérieur des tissus superficiels. On constate par ce ·océdé des différences de température très accusées

entre la surface de la peau et les tissus plus profonds. Cette particularité, due à la mauvaise conductibilité du corps humain, permet d'expliquer facilement pourquoi les sensations de froid et de chaud ne sont pas toujours proportionnelles aux degrés du thermomètre.

Tout le monde sait que, par un air calme, un froid rigoureux est facilement supportable, alors qu'il devient intolérable dans un air agité. L'action du vent a pour effet d'augmenter la vitesse de déperdition de la chaleur en déterminant un contact plus intime entre l'air et notre corps. Cette action équivaut à une augmentation de la conductibilité de l'air. On peut facilement se rendre compte de ce fait en observant la vitesse du refroidissement d'un thermomètre à mercure dans un air animé de vitesses différentes. Une expérience faite entre des limites de vitesses très fréquemment atteintes à la surface du sol m'a donné les résultats suivants :

Vitesse du courant d'air en mètres par seconde	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m
Vitesse de refroidissement . . .	1	3,1	3,8	4,1	4,5	4,7	4,9

La vitesse de refroidissement croît très vite lorsque l'on passe de l'air calme à un air animé d'une faible vitesse. Pendant les froides et belles journées d'hiver, il suffit qu'une légère brise vienne à souffler pour que nous éprouvions aussitôt une sensation de froid très intense, sans que la température de l'air ait changé.

La vitesse de l'air augmente en outre la sensation de froid en agissant sur le phénomène de l'évaporation. Toutes choses égales d'ailleurs, la vitesse d'évaporation croît très vite avec celle de l'air. A la température de 13° et dans un air dont l'état hygrométrique était de

0,73, l'évaporation d'une petite surface d'eau a atteint les valeurs suivantes :

Vitesse du courant d'air	0m	1m15	5m15	10m10
Vitesse de l'évaporation.	1,0	6,3	12,6	19,8

Chaque quantité d'eau supplémentaire ainsi évaporée emprunte sa chaleur de vaporisation en partie à l'air, ce qui ne change pas la température de notre corps, mais en partie aussi au liquide qui perle à la surface de notre peau. Le refroidissement superficiel s'exagère et les papilles nerveuses superficielles ne tardent pas à nous avertir que notre individualité se refroidit. Cette influence de l'agitation de l'air a une grande importance pour modérer ou activer l'énergie de la sensation de froid que nous percevons du milieu extérieur.

Il en est de même de l'humidité variable de l'atmosphère. Un air humide ralentit l'évaporation et prévient l'abaissement de température qui résulterait, dans les régions superficielles de notre organisme, du refroidissement de l'atmosphère. L'humidité de l'air, en modérant la transpiration pendant les fortes chaleurs, détermine une gêne sensible dans l'exercice de cette fonction utile pour la vie de l'organisme. Il en résulte une impression désagréable, une espèce de malaise qui fait dire que la chaleur est *lourde et accablante.*

Cette impression particulière de la chaleur humide, qui détermine en partie chez l'homme l'accident connu sous le nom d'*insolation*, n'est pas moins désagréable à nos animaux domestiques. Le cheval devient plus nerveux : on dit que *les mouches piquent;* c'est quelquefois vrai, mais la température et l'humidité de l'air ne sont pas hors de cause en cette circonstance.

Dans les éducations des vers à soie, les journées de chaleur humide par un air calme peuvent entraîner une mortalité exceptionnelle. Les sériciculteurs désignent parfois ces conditions météorologiques sous le nom de *touffes*. La transpiration cutanée se ralentit considérablement, et, si l'organisme des vers est déjà atteint par une affection antérieure, la mortalité peut atteindre en quelques heures des proportions considérables. Le remède indiqué par l'expérience est, dans ce cas, une ventilation énergique des magnaneries.

En résumé, la température de l'air retentit directement sur l'organisme animal, non pas en modifiant sensiblement sa température, mais en mettant en action son *mécanisme régulateur*. Les sensations diverses que nous éprouvons au contact de l'air froid ou de l'air chaud sont déterminées en partie par l'accomplissement des diverses opérations réalisées par le système régulateur de la température de notre organisme.

BIBLIOGRAPHIE

A. Angot. — Etude sur les phénomènes de la végétation et la migration des oiseaux en France. (Annales du Bur. cent. mét., années 1884 et 1886.)

Flahault. — Programme d'observations sur les phénomènes périodiques de la végétation. (Bulletin météorologique de l'Hérault, 1889.)

Chabaneix. — Marche de la végétation. (Bulletin météorologique de l'Hérault, années 1889 et 1890).

Angot. — Etudes sur la date des vendanges en France. (Annales du Bureau central météorologique, T. I, année 1883.)

Cornu et Larbalétrier. — Manuel de météorologie agricole.

Tafarin. — Traité du chauffage des serres.

Ch. Naudin. — Serres et orangeries en plein air.

Schlœsing. — Contribution à l'étude de la chimie agricole.

Beaunis. — Nouveaux éléments de physiologie humaine.

Tenquard. — La culture artificielle du raisin en Angleterre. (Journal « La Nature », année 1890, T. I. p. 307.)

Duclaux. — Des fermentations.

E. Macé. — Traité pratique de bactériologie.

Ch. Naudin et le **baron Von Müller.** — Manuel de l'acclimatation des plantes, 1887.

Duclaux. — Cours de physique et de météorologie.

CHAPITRE VI

OÙ S'EN VONT LES RAYONS DU SOLEIL ET COMMENT ON PEUT LES RETENIR

Tout voyage en lointain pays comporte, qu'il soit entrepris par un explorateur ou par un rayon de soleil, trois phases distinctes : l'aller, le séjour et le retour.

Nous avons étudié l'aller en nous préoccupant de l'arrivée des radiations solaires à la surface du sol, de leur distribution annuelle et de leurs effets sur la végétation.

Nous connaissons aussi les éléments principaux qui caractérisent le séjour des rayons du soleil à la surface du sol, les échanges réalisés entre le sol et l'atmosphère, entre un corps et les corps voisins, et nous avons vu comment le niveau thermométrique ou température présidait à l'activité des végétaux et des animaux.

Il nous reste à examiner comment s'éloignent de la surface de notre sol ces radiations si utiles et s'il ne serait pas possible de les y retenir quelque temps tout au moins, afin de faire bénéficier plus longtemps la végétation de leurs heureux effets.

Nous avons déjà vu que les variations diurnes et

annuelles de la température de l'air ne pouvaient s'expliquer que par la disparition des radiations calorifiques émises d'une façon continue vers les espaces célestes. La cause du refroidissement nocturne était depuis longtemps entrevue, mais les lois du rayonnement calorifique terrestre n'étaient pas exactement connues. On doit au physicien anglais Wells les premières indications précises sur ce sujet. Il a indiqué les principales conditions qui règlent l'activité du rayonnement nocturne.

LE RAYONNEMENT NOCTURNE

Wells remarqua que les corps exposés en plein air par une nuit sereine se refroidissaient très irrégulièrement et se refroidissaient d'autant plus qu'ils possédaient un pouvoir émissif plus élevé. Une théière en argent poli conserve très longtemps sa chaleur, et tous les métaux polis ont un pouvoir émissif très faible. Or Wells, ayant exposé une plaque d'argent au rayonnement nocturne, trouva qu'elle se refroidissait beaucoup moins que la planche de bois qui la supportait.

Il vit en outre que ce refroidissement était bien dû au rayonnement de la chaleur vers les espaces célestes, car ayant placé à la hauteur de $1^m,20$ deux thermomètres, l'un à la face supérieure, l'autre à la face inférieure d'une planche épaisse, il vit que le premier indiquait jusqu'à $9°$ de moins que le second.

Wells fit encore voir que la conductibilité des corps exposés au rayonnement avait une grande influence sur leur refroidissement. Il ne suffit pas, en effet, qu'un

corps rayonne beaucoup pour que sa température s'abaisse notablement au-dessous de celle de l'air; il faut encore qu'il ne puisse pas regagner par conductibilité la chaleur qu'il a perdue. C'est pour cette raison que les Indiens, qui utilisent le rayonnement nocturne des nuits sereines pour obtenir de la glace, ont soin de déposer les vases qui renferment le liquide sur une couche de paille sèche, mauvaise conductrice de la chaleur.

On peut poser encore, en règle générale, que les corps solides se refroidissent plus que l'air dans lequel ils sont plongés, parce qu'ils rayonnent davantage. M. Pouillet a vu des flocons de duvet de cygne descendre à 6° au-dessous de la température de l'air. Il a trouvé de plus que, pour un ciel serein, cette différence restait constante, quelle que fût la température de l'air.

Melloni observa de même qu'un thermomètre de verre s'abaissait quelquefois de 2° au-dessous de la température de l'air. Il serait fort intéressant de connaître l'abaissement maxima de température que peut présenter un sarment de vigne par rapport à l'air dans lequel il rayonne. Il est assez probable que cet abaissement est sensiblement de même ordre que celui du réservoir d'un thermomètre, de telle sorte que la température d'un bourgeon de la vigne est approximativement donnée par la température d'un thermomètre exposé librement au rayonnement à hauteur égale au-dessus du niveau du sol.

La vigne pourra donc descendre à 0° dans un air où un thermomètre abrité indique + 2°. Il faut ajouter en outre que l'on a souvent signalé le gel d'un végétal dans un air au-dessus de zéro, parce que l'observation de la température n'avait pas été faite à une hauteur convenable. Il est bon de rapporter ici quelques chif-

fres qui montrent la grandeur de l'écart que peut présenter la température au ras du sol et à quelques décimètres au-dessus.

M. Glaisher a exposé des thermomètres à différentes hauteurs au-dessus du sol d'une prairie. La température réelle de l'air à 2 mètres étant —1°2, le thermomètre au niveau du gazon indiquait —11°7, à 0m10— 8°2, à 0m30—2°6, à 0m70— 2°1, à 1m30—1°9, à 2m— 1°7. Le thermomètre au niveau du sol et le thermomètre à 2 m présentaient un écart de 10°. Des variations aussi excessives ne se produisent guère qu'au-dessus des surfaces gazonnées. Melloni en a donné une explication très rationnelle. Supposons que la couche d'air qui baigne le gazon soit, à l'origine, à —1°2 ; les tiges d'herbes qui rayonnent vont prendre une température de 2° plus basse, par exemple ; mais alors l'air finira par se refroidir jusqu'à atteindre cette température, soit — 3°2. Puis les herbes, rayonnant dans cet air à —3°2, vont de nouveau se refroidir plus que lui et prendre une température de 2° plus basse ; de telle sorte que la température de l'air court sans cesse au devant de la température du gazon qui fuit toujours devant elle. Le refroidissement obtenu serait presque illimité si l'air froid restait emmagasiné au contact du gazon et ne tendait pas à s'écouler pour être remplacé par de l'air plus chaud.

Dans les observations de l'École d'agriculture de Montpellier, les écarts entre le thermomètre exposé à l'air libre à 0m20 au-dessus du sol nu et celui observé à 2 mètres atteignent très fréquemment 4°. Dans la matinée du 9 février 1887, on relevait les températures minima suivantes : à 2m —8°5, à 0m20 —14°2 ; l'écart était de près de 6 degrés.

Les chiffres relevés par M. Glaisher montrent en

outre que si l'écart des températures est très grand entre la surface du sol et les couches d'air distantes de quelques décimètres, les différences s'atténuent très rapidement avec la hauteur ; de telle sorte qu'un thermomètre placé à la hauteur moyenne des bourgeons de la vigne donne bien, à 1° près, la température sur toute la longueur des sarments.

Une cause indépendante de celle que Wells a mise en évidence peut aussi contribuer à amener au-dessous de zéro la température d'un végétal dans un air à quelques degrés au-dessus de zéro. Lorsqu'un liquide s'évapore, il se refroidit, et Gay-Lussac a, le premier, déterminé expérimentalement, dès 1822, la température finale d'une mince surface d'eau évaporant dans l'air sec. Il a montré que la théorie et l'expérience conduisent à des valeurs sensiblement égales de l'abaissement de température qui atteindrait, pour des températures de l'air de . . . . . 0° 1° 2° 3° 4° 5°, les valeurs respectives de 5°8 6°0 6°2 6°5 6°8 7°2

Mais l'air n'est jamais complètement sec, et si l'on admet que l'humidité relative de l'air soit de 0,50 au moment du lever du soleil par un temps sec et un léger vent du nord, l'expérience indique que la température de l'air étant de . . . . 0° 1° 2° 3° 4° 5° l'abaissement de température déterminé par l'évaporation serait respectivement de . . . . . 2°8 2°8 2°9 3°1 3°2 3°3

De telle sorte que si les feuilles d'un végétal évaporaient autant qu'une mince pellicule d'eau, elles pourraient descendre à zéro dans l'air à + 3°, par le seul refroidissement dû à l'évaporation.

Dans des conditions de sécheresse de l'air tout à fait

exceptionnelles, De Saussure a vu, par une température de +10°1, un thermomètre mouillé descendre à +0°8. Si la température se fût abaissée de 1° environ, le thermomètre se serait recouvert de glace par une température de +9°.

On doit néanmoins faire remarquer ici que cette cause de refroidissement des plantes a moins d'importance que ne sembleraient l'indiquer les chiffres ci-dessus, parce que l'évaporation des végétaux est très réduite en l'absence de la radiation solaire et que l'air, au moment du minimum de température, est en général amené assez près du point de saturation.

La température de l'air à 1^m50 ou 2^m ne pourra donc nullement guider pour décider s'il y a eu gelée pour les plantes, alors même que pour simplifier cette étude, nous admettrions momentanément qu'une plante gèle quand la température de ses tissus s'abaisse à zéro. On peut toutefois admettre qu'un thermomètre, placé à une certaine hauteur au-dessus du sol nu et exposé sans abri au rayonnement nocturne, accuse une température qui se rapprochera assez, en général, de celle d'un végétal exposé au refroidissement d'une nuit sereine à une même distance du sol.

L'examen et la distinction des principales conditions du phénomène qui président au refroidissement des corps exposés pendant la nuit à la surface du sol permettent de formuler la théorie suivante du rayonnement nocturne.

Séparés par l'atmosphère terrestre, deux foyers sont en présence et possèdent des températures essentiellement différentes. L'un est la surface du sol dont nous connaissons assez exactement la température, l'autre est l'espace interplanétaire. La température de ce mi-

lieu, révélée approximativement par le décroissement de la température avec la hauteur et la vitesse du refroidissement des corps terrestres, serait, d'après Pouillet, voisine de 140° au-dessous de zéro. Entre ces deux milieux à températures différentes se poursuit un échange incessant de radiations. L'un, le sol, envoie des radiations de moyenne température ; l'autre, l'espace céleste, rayonne en retour des radiations à basse température. Tout se passe, au point de vue de l'impression exercée sur nos organes, comme si l'un envoyait de la chaleur et l'autre restituait du froid, et en ce qui concerne le niveau thermométrique de chacun des deux milieux qui réalisent l'échange, la température du sol s'abaisse et celle de l'espace interplanétaire s'élève.

Mais l'équilibre n'est jamais atteint ; l'espace interplanétaire est si vaste que la radiation émise par ce point réduit de l'espace que nous appelons la terre se distribue dans un domaine sans bornes et la température de l'infini ne subit aucune variation. Ce rayon, qui a quitté notre sol, va voyager peut-être des milliers d'années avant de rencontrer un astre dont la matière solide l'arrête au passage ; il y restera quelque temps peut-être, puis sera rayonné de nouveau dans l'espace infini et, errant de monde en monde, il rencontrera quelquefois ses frères partis de notre globe à des époques différentes, et s'il leur était possible, en se communiquant leurs impressions, de dresser la statistique des radiations en voyage à travers l'infini, ils arriveraient à reconnaître que leur nombre est invariable et que les variations de l'émission terrestre ne sauraient en rien modifier la température des espaces interplanétaires.

Toutefois, pour une même température réalisée à la surface du sol, l'émission de chaleur est essentielle-

nent variable, le régime des échanges est surtout réglé par la transparence de l'atmosphère. Quand l'air est transparent, la vitesse du refroidissement des corps terrestres n'est limitée que par la faible quantité de chaleur qui, arrêtée au passage par l'atmosphère, est le nouveau rayonnée vers le sol. Mais si un banc de nuages se forme à quelques centaines de mètres au-dessus du sol, il constitue un véritable écran qui arrête au passage la radiation émise et l'oblige à rebrousser chemin. Une partie est réfléchie ou plutôt rayonnée directement vers le sol; une autre partie continue sa route vers les espaces célestes, celle-ci pourra être interrompue et intervertie de nouveau à la rencontre d'un nouvel obstacle créé par les condensations aqueuses réalisées à un niveau supérieur.

En réalité, quand le ciel est couvert, le rayonnement s'atténue beaucoup et le refroidissement des corps exposés en plein air pendant la nuit est très faible; il s'exagère considérablement par les nuits sereines.

L'intensité de l'émission de chaleur est, de plus, variable suivant les directions dans lesquelles elle s'effectue. Le rayonnement vertical est beaucoup plus intense que le rayonnement latéral. Cela résulte de la distribution et de l'opacité des écrans absorbants qui limitent l'émission de chaleur. C'est dans la direction verticale que l'épaisseur de l'atmosphère et des condensations aqueuses est la plus faible. Les bancs de nuages, même pendant les nuits sereines, encombrent assez souvent l'horizon, et l'épaisseur atmosphérique que doit traverser un rayon de chaleur pour se répandre à l'infini croît progressivement depuis la verticale jusqu'au plan de l'horizon. Une sphère noircie et mauvaise conductrice, exposée au rayonnement nocturne, présente, au bout d'un certain

temps, des températures essentiellement différentes qui vont en décroissant, de sa région inférieure tournée vers le sol, à sa région supérieure orientée vers le ciel. De même les parties supérieures d'un végétal souffrent-elles beaucoup plus du rayonnement nocturne que les parties latérales.

Pouillet, dans le but d'étudier le rayonnement nocturne, avait fait construire un actinomètre spécial qui permettait d'évaluer la température moyenne de l'atmosphère dans la direction du zénith.

L'*actinomètre de Pouillet* consiste essentiellement en un calorimètre cylindrique garni de duvet de cygne; sa capacité est divisée par des cloisons horizontales de peau de cygne avec duvet adhérent; un thermomètre repose dans le duvet du diaphragme supérieur; le duvet rayonne vers les espaces célestes et sa température s'abaisse progressivement. Pour exagérer le refroidissement ainsi obtenu, ce premier calorimètre est enfermé dans un second cylindre en métal poli qui empêche les échanges latéraux de température. Le bord supérieur de ce cylindre extérieur dépasse légèrement celui du calorimètre intérieur, de telle sorte que la portion du ciel vue par le réservoir sphérique du thermomètre est égale aux 2/3 de la surface totale de la voûte céleste. Un petit orifice latéral, percé dans la paroi du cylindre extérieur, à la hauteur du bord supérieur du calorimètre intérieur, permet l'écoulement de l'air froid et empêche son accumulation au-dessus du thermomètre dont la température obéit ainsi plus fidèlement aux variations de l'intensité du rayonnement nocturne.

Pouillet désigne sous le nom de *température zénithale* une température telle que, si elle existait sur une enveloppe sphérique concentrique au réservoir du ther-

nomètre, elle produirait sur le thermomètre du calo-imètre le même abaissement de température que celui ui résulte de l'échange de température entre le ther-nomètre et les espaces célestes au travers de l'atmo-phère. Pouillet réalisa expérimentalement cette enve-ppe en faisant construire une paroi de zinc à double nveloppe, constituant une portion de sphère de 2 mè-es de rayon, dont on abaissait la température jusqu'à e que l'on obtînt un refroidissement sensible de l'ac-nomètre placé au-dessous. Pouillet observa que si l'on etranchait de la température de l'air t les 9/4 de l'abais-ement de température du calorimètre, on obtenait exac-ement la température de la paroi refroidie, c'est-à-dire ı température zénithale. La température zénithale z de 'ouillet, qui est une température des régions supé-eures de l'atmosphère telle qu'elle détermine l'abaisse-ıent de température $t-t'$ constaté chez le thermomètre e l'actinomètre, est donc donnée par la relation $z = t - 9/4\ (t - t')$.

La température zénithale z, comparée à la tempéra-ıre de l'air t à une certaine distance du sol, sous l'abri ıermométrique, par exemple, permet de juger, par la randeur des différences observées, de l'activité corres-ondante du rayonnement nocturne.

Voici le résultat de quelques observations de Pouillet:

DATES de l'observation	TEMPÉRATURES de l'air	TEMPÉRATURES de l'actinom^{e}	TEMPÉRATURES zénithale	DIFFÉRENCE température air et zénithale
Avril, 8 h. soir	5°6	—0°8	—8°8	14°4
— 9 h. soir	4.5	—2.0	—10.1	14.6
— 10 h. soir	3.6	—3.0	—11.7	15.3
Avril, 4 h. 30 m. matin.	0.0	—7.0	—15.7	15.7
— 5 h. matin.	0.0	—7.0	—15.7	15.7
— 5 h. 30 m. matin.	0.1	—6.5	—14.5	14.6

La comparaison des diverses séries d'observations rapportées par Pouillet montre que le rayonnement nocturne atteint son maximum d'intensité vers les premières heures de la matinée.

La détermination de la température zénithale et l'évaluation du pouvoir absorbant de l'atmosphère pour la chaleur rayonnée par le sol et pour la chaleur émise par les espaces célestes a permis à Pouillet d'évaluer approximativement la température des espaces célestes. Cette température, qui est très basse, serait comprise entre — 115° et — 175°; sa valeur la plus probable serait — 142°.

L'émission de chaleur par le sol vers les espaces célestes se poursuit sans interruption pendant le jour et pendant la nuit. Pendant le jour, la perte de chaleur est masquée et compensée même au delà par le gain de chaleur dû à l'apport de la radiation solaire. Pendant la nuit, au contraire, rien ne compense les radiations perdues, et le sol aussi bien que l'atmosphère traduisent cette perte par un refroidissement progressif. La rapidité avec laquelle la température de l'air s'abaisse pendant la nuit dépend, d'une part, du niveau plus ou moins élevé qu'a atteint leur température pendant le jour, et, d'autre part, de la transparence du ciel qui règle l'émission de chaleur. Cette dernière condition varie fréquemment dans l'intervalle d'une même nuit et il n'est pas possible de déterminer la loi qui règle le décroissement progressif de la température des corps soumis au rayonnement nocturne. Cela est d'ailleurs infiniment regrettable, parce que, si l'on connaissait cette loi, on pourrait, en connaissant la température au coucher du soleil et la transparence de l'atmosphère, prévoir exactement quelle serait la température minima du lende-

main, et chaque soir l'agriculteur pourrait être renseigné sur la probabilité des gelées nocturnes.

On a rapporté dans le tableau suivant la marche décroissante de la température depuis le maximum du jour précédent jusqu'au minimum atteint vers le lever du soleil. Cette marche a été déduite, pour la température à 2 mètres, du tracé du thermomètre enregistreur à 6 mètres et des maxima et minima observés à 2 mètres. On a déterminé la marche de la température à $0^m,20$ en supposant que les abaissements des thermomètres à 2 mètres et à $0^m,20$ restent proportionnels pendant les phases successives du refroidissement.

Marche du refroidissement nocturne

			3 h. soir.	6 h. soir.	9 h. soir.	12 h. soir.	3 h. mat.	6 h. mat.
26 mars 1884.	Th. à	2m	16,5	12,2	5,6	3,6	2,8	—0,8
		0m20	16,5	11,6	4,1	1,8	0,9	—3,2
24 mars 1885.	Th. à	2m	17,1	12,5	9,0	5,4	2,8	—0,5
		0m20	17,1	12	7,8	4,1	1,2	—2,5
12 avril 1883.	Th. à	2m	14,7	13,6	7,6	3,7	2,8	3,7
		0m20	14,7	13,2	5,5	0,4	—0,8	+0,4
10 avril 1885.	Th. à	2m	15°	11,5	7,6	3,3	1,7	1,5
		0m20	15°	10,3	5,0	—0,8	—2,9	—3,2
12 mai 1883.	Th. à	2m	18°	17,2	7,3	3,8	3,0	6,3
		0m20	18°	17	5,5	1,4	0,5	4,3
3 mai 1886.	Th. à	2m	24,5	19,8	14,8	9,6	4,5	5,9
		0m20	24,5	18,9	13,1	6,9	0,9	2,5

On peut voir, d'après les données du tableau ci-dessus, que la marche du refroidissement nocturne peut se rapporter à deux types principaux. Dans le premier, gelée du 12 avril 1883, la température baisse rapidement de 3 heures du soir à minuit, puis devient sensi-

blement stationnaire, variant à $0^m,20$ de $1°2$ en trois heures.

Dans le second type au contraire, gelée du 26 mars 1884, le refroidissement est continu ; il s'accélère même dans les dernières heures de la nuit, et le thermomètre à $0^m,20$ baisse de $4°,1$ de 3 heures à 6 heures du matin.

Les autres gelées se répartissent entre ces deux types extrêmes en présentant toutes les allures intermédiaires, de telle sorte qu'il est impossible d'indiquer quelle température doit exister trois heures avant l'époque du minimum pour que le thermomètre descende jusqu'à zéro. On peut seulement remarquer que la température a dans le cas extrême varié de 6° pendant les trois heures qui ont précédé la date du minimum. L'abaissement a été de 2° par heure, matinée du 3 mai 1886.

Prévision des gelées de printemps. — Toutefois, en remarquant qu'il existe souvent une relation entre la nébulosité du ciel et l'état hygrométrique de l'air, on peut, par l'observation de l'humidité de l'atmosphère au coucher du soleil et de la température à ce même moment, prévoir à peu près les chances de gelée. Tel est le principe du procédé indiqué par M. Kammermann, de Genève.

Procédé Kammermann pour la prévision des gelées de printemps. — On enveloppe le réservoir d'un thermomètre de plusieurs doubles de mousseline, on le plonge dans l'eau et, après avoir attendu environ dix minutes que sa température se fixe et demeure invariable, on lit son indication t. D'après M. Kammermann, il existerait toujours une même différence de température $(t-t')$ entre celle t donnée par la lecture du thermomètre mouillé à 3 heures du soir et le minimum t' observé dans

air le lendemain matin. Pour chaque région, une expé-ience préalable fera connaître la valeur de cette diffé-ence. Si elle est de 4° et que le thermomètre mouillé 3 heures du soir indique + 4°, on devra prévoir que ı température de l'air descendra jusqu'à 4° — 4° = 0°. l y aura des chances de gelée et l'agriculteur devra se ənir sur ses gardes.

On peut remarquer, en effet, que la température du hermomètre mouillé dépend à la fois de la tempéra-ıre de l'air et de sa sécheresse. Si l'air est sec, l'éva-oration de l'eau est plus active et entraîne un refroi-issement plus accusé. La lecture, ainsi faite, tient donc ompte à la fois et de la température actuelle de l'air t de sa transparence définie par son humidité. L'incer-tude du procédé résulte de ce que la transparence 'est pas réglée uniquement par la proportion de la apeur d'eau à la surface du sol, et aussi de ce que la ransparence observée à 3 heures du soir peut varier ısqu'au lever du soleil.

Procédé de Mohn. — M. Mohn, directeur de l'Institut ıétéorologique de Christiania, a indiqué une méthode ui repose toujours sur l'humidité de l'atmosphère au oucher du soleil, mais qui s'appuie sur un principe ifférent de celui invoqué par M. Kammermann.

Tant que le refroidissement nocturne précipite la apeur d'eau sous forme de rosée, la chaleur de aporisation mise en liberté par cette condensation ompense l'abaissement de température à la surface es corps où se dépose la rosée et même à une cer-ıine distance. Par conséquent, tout le temps que la osée se produit, la température ne peut descendre ıcilement au-dessous de celle qui amène la condensa-

tion et que l'on appelle *température du point de rosée*. Si le point de rosée est au-dessus de zéro, la gelée n'est pas à craindre ; s'il est au-dessous, il y a chance de gelée.

De cette considération résulte la méthode suivante : on détermine le soir, vers le coucher du soleil, l'état hygrométrique de l'air à l'aide d'un psychromètre, c'est-à-dire par la lecture simultanée d'un thermomètre sec et d'un thermomètre mouillé. La différence de la température des deux thermomètres et la valeur de la température du thermomètre mouillé font connaître directement, à l'aide de tables appelées *tables psychrométriques*, la valeur de l'état hygrométrique. Des tables analogues, dressées à l'avance, font connaître la température correspondante du point de rosée.

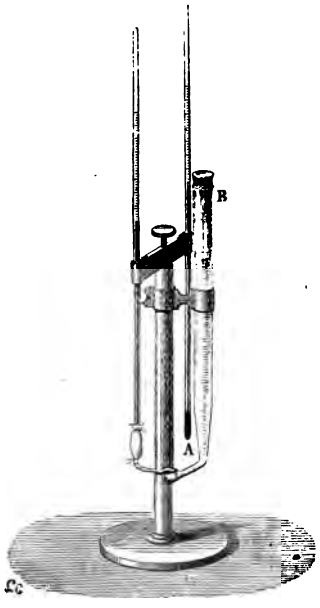


Fig. 62.— Psychromètre.

On trouvera dans divers ouvrages, et en particulier dans les *Instructions météorologiques* de M. Angot, des tables psychrométriques complètes. Nous en extrayons un fragment qui permettra de déterminer les états hygrométriques

assez souvent réalisés au coucher du soleil à l'époque des gelées de printemps.

Le tableau inséré à la suite de ces tables fait connaître les tensions de la vapeur d'eau correspondant aux diverses températures du point de rosée.

Table psychrométrique donnant l'état hygrométrique de l'air

Thermomètre mouillé	Différence du thermomètre sec et du thermomètre mouillé										
	0°0	0°2	0°4	0°6	0°8	1°0	1°2	1°4	1°6	1°8	2°0
0...	100	96	92	88	85	81	78	74	71	67	64
1...	100	96	92	89	85	82	79	75	72	69	66
2...	100	96	93	89	86	83	77	76	73	70	67
3...	100	97	93	90	87	84	80	77	74	71	69
4...	100	97	93	90	89	84	81	78	76	73	70
5...	100	97	94	91	88	85	82	79	77	74	71
6...	100	97	94	91	88	85	83	80	77	75	72
7...	100	97	94	91	89	86	83	81	78	76	73
8...	100	97	94	92	89	87	84	82	79	77	74
9...	100	97	95	92	90	87	85	82	80	78	75
10...	100	97	95	92	90	88	85	83	81	78	76
11...	100	97	95	93	90	88	86	83	81	79	77
12...	100	98	95	93	91	88	86	84	82	80	78
13...	100	98	95	93	91	89	87	85	83	80	79
14...	100	98	95	93	91	89	87	85	83	81	79
15...	100	98	96	93	91	89	87	85	83	82	80

Tableau des tensions de vapeur correspondant aux températures du point de rosée

Temp.	Tensions	Temp.	Tensions	Temp.	Tensions	Temp.	Tensions
—4°...	3mm4	+1°...	4mm9	6°...	7mm0	11°...	9mm8
—3° ..	3mm6	2° ..	5mm3	7°...	7mm5	12°...	10mm5
—2°...	3mm9	3°...	5mm7	8°...	8mm0	13°..	11mm2
—1°...	4mm3	4°...	6mm1	9°...	8mm6	14°...	11mm9
0°..	4mm6	5°. .	6mm5	10°...	9mm2	15°. .	12mm7

L'état hygrométrique donné par les tables psychrométriques représente, en effet, le rapport de la tension actuelle de la vapeur d'eau dans l'air à la tension qu'il possèderait s'il était saturé.

Supposons que l'état hygrométrique soit 0,90 au coucher du soleil et la température de 3°. La tension maxima que possèderait l'air s'il était saturé serait $5^{mm},7$ d'après la table précédente, et comme l'on a : état hygrométrique égale tension du point de rosée divisée par tension d'air saturé, on a aussi : *tension du point de rosée* égale *état hygrométrique* multiplié par *tension d'air saturé*. La tension correspondante au point de rosée sera par suite $0,90 \times 5^{mm},7 = 5^{mm},2$. En consultant de nouveau la table précédente, nous trouvons que la température correspondant à $5^{mm},2$, qui est aussi la *température du point de rosée*, est voisine de $+2°$. Il n'y aura donc pas de chances de gelée malgré la basse température de l'air au coucher du soleil.

Supposons, au contraire, que pour la même température de 3°, l'état hygrométrique de l'air soit 0,60 : nous trouvons pour la tension de l'air saturé $5^{mm},7$ et pour la tension du point de rosée $0,60 \times 5,7 = 3^{mm},4$.

a température du point de rosée sera de — 4°. Il y ıra chances sérieuses de gelée.

Mais s'il n'est pas possible, malgré les indications onnées par les méthodes précédentes, de déduire exac- ›ment la température minima de la nuit de celle obser- ée au coucher du soleil, peut-on au moins connaître s époques de l'année où les refroidissements noctur- es sont le plus à craindre et peuvent déterminer les ›cidents redoutés des agriculteurs et entraînant la ıort des végétaux par l'abaissement de leur tempéra- ıre au-dessous de zéro.

Époques des gelées de printemps. — Les gelées de rintemps, qui intéressent le plus directement la végé- tion parce qu'elles exercent leurs effets destructeurs ır des organes jeunes et plus sensibles à l'action de gelée, se produisent, pour la vigne en particulier u'elles intéressent plus directement, depuis son débour- ›ment ou entrée en végétation jusqu'à la cessation des ›oids. Le premier épanouissement des bourgeons ou ébourrement commence, pour quelques variétés améri- ıines à végétation hâtive, vers le 15 mars, et dans le cli- ıat où la vigne est cultivée, la période des gelées n'excède ıe fort rarement la fin du mois d'avril. On peut donc ›signer à la période des gelées de printemps l'inter- ılle du 15 mars au 15 mai.

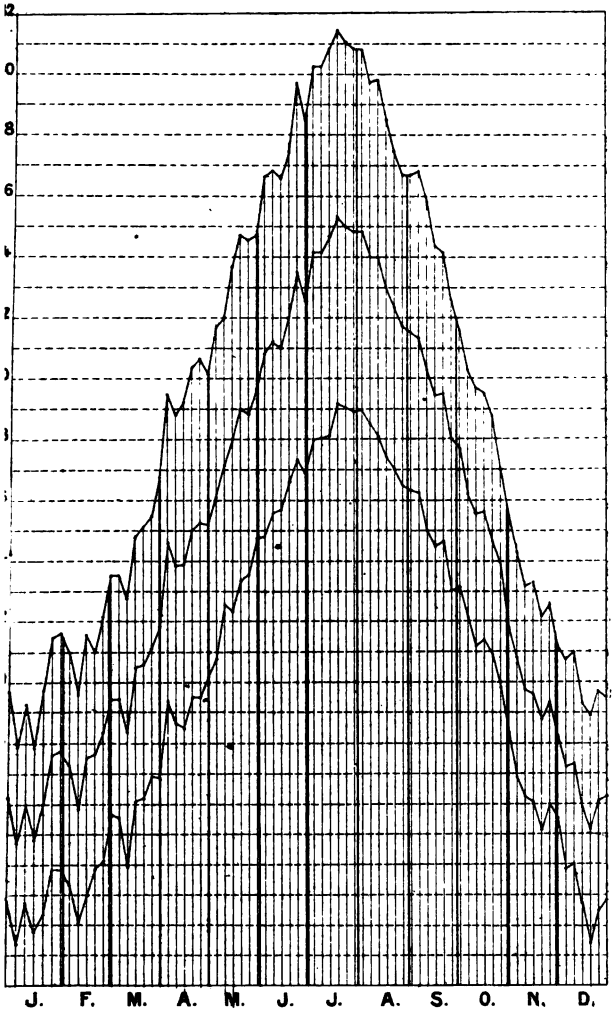
Mais, durant cette période, les gelées sont-elles uni- ıement réparties d'après la loi du hasard, ou bien sont- les plus ou moins étroitement liées à certaines épo- ıes particulières ? Nous allons exposer les pièces du ›ocès, laissant à nos lecteurs liberté entière pour lmettre les conclusions que l'on pourrait en déduire, le raisonnement ne se refusait quelquefois à admet-

tre ce que notre esprit voit clairement sans toutefois en comprendre la cause.

Supposons d'abord que les dates des gelées de printemps observées pendant une série d'années n'aient d'autre raison d'être qu'une répartition dictée par le hasard et représentons par une ligne ondulée A les variations de température pendant une année déterminée, l'année 1882 par exemple. Les hauts de la courbe représenteront une élévation, les bas un abaissement de la température. Traçons de même, côte à côte, une deuxième ligne ondulée B, représentant la marche de la température en 1883. Puis traçons une ligne C qui reste toujours à égale distance des lignes A et B. La ligne C ainsi obtenue représentera la marche moyenne de la température pendant les deux années 1882 et 1883; elle aura pour caractère d'être moins mouvementée que les lignes A et B, prises isolément, parce qu'elle sera constamment comprise entre les ondulations extrêmes de A et de B, et que celles-ci ne concorderont que fort rarement à la même époque de l'année.

Si l'on associe de même les deux années 1884 et 1885, représentées par deux lignes A' et B', on obtiendra de même une ligne C' possédant les mêmes caractères que C et représentant la marche moyenne annuelle de la température en 1884 et 1885; et si enfin on trace une ligne conduite à égale distance de C et C' rapportées côte à côte, on obtiendra une ligne C'' moins mouvementée que C et C' et par suite que A. B. A' et B'. Cette ligne C'' représentera d'ailleurs la marche moyenne du thermomètre pendant la période de 4 années de 1882 à 1885.

Nous arrivons ainsi à ce résultat que si les dates des variations de température sont purement accidentelles,



. 63.— Marche annuelle de la température de l'air à Montpellier, maxima, moyenne, minima.

la ligne qui exprime la marche moyenne de la température deviendra de plus en plus régulière au fur et à mesure qu'elle résumera un plus grand nombre d'années. Or, c'est précisément tout le contraire qui arrive et qui a été mis en évidence par un remarquable travail de M. E. Roche sur la marche annuelle de la température à Montpellier.

M. Roche a montré que plus on étendait la comparaison de la marche du thermomètre à un plus grand nombre d'années, plus aussi se dessinait la netteté de certains abaissements de température à date fixe. C'est qu'en effet, s'il existe une cause réelle qui veuille qu'un refroidissement de l'atmosphère se produise à une date déterminée, il arrivera que cet abaissement pourra bien être masqué en 1882, déplacé légèrement en 1883; mais il apparaîtra avec beaucoup de probabilité en 1884 et en 1885. La moyenne de 1882 et 1883 l'auraient laissé passer inaperçu, la moyenne de 4 années 1883 à 1885 le mettra en évidence, et sa date sera d'autant mieux indiquée que la marche moyenne des températures sera déduite d'une plus longue série.

Voici quelles sont à Montpellier, d'après M. Roche, les dates des principaux abaissements de température entre les limites du 15 mars au 15 mai :

1° Du 10 au 14 mars ; 2° du 25 au 29 mars ; 3° du 9 au 14 avril ; 4° du 23 au 25 avril ; 5° du 3 au 6 mai ; 6° du 11 au 13 mai.

Les proverbes populaires avaient d'ailleurs depuis longtemps sanctionné les résultats de cette étude. La période du 25 au 29 mars correspond à la date des coups de vents accompagnés de giboulées que les anciens désignaient sous le nom de *Vaccarious*. Les périodes du 23 au 25 avril et du 3 au 6 mai comprennent les 4 jours

ı soufflent les vents généralement secs et froids appe-
s *vents Cavaliers*. La période du 11 au 13 mai corres-
)nd à celle des *saints de glace :* Saint-Mamert, Saint-
ancrace et Saint-Gervais, *qui sans froid, dit-on, ne vont mais*.

Ces abaissements de température à date fixe pendant première moitié de l'année ont été signalés non seument à Montpellier, par M. Roche, mais à Paris, par . Renou; à Bruxelles, par M. Quételet ; à Lyon, par . Marchand, et récemment à Nancy par M. Millot.

Les dates de ces accidents de température ne sont .s exactement les mêmes pour les diverses localités ıe nous venons de citer; mais plusieurs concordent, autres paraissent seulement subir un léger retard. ıaque mois en présente un nombre qui varie de 1 à 3. :s époques de refroidissement les plus accusées sont ıisines du 13 de chaque mois; cette remarque avait été te par Sainte-Claire Deville au sujet des observations Paris.

Le tableau suivant, où nous avons rapproché les dates s principaux abaissements de température en les levant sur les documents mis en œuvre par MM. Qué-et, Roche et Millot, permettra de saisir les analogies ces accidents climatériques pour les trois localités Montpellier, Nancy et Bruxelles.

Dates des principaux abaissements de température à janvier à juillet

	JANVIER	FÉVRIER	MARS
Montpellier.. .	5 15	10	12 2
Nancy.. . . .	12 20	7 13 24	3 13 2
Bruxelles.. . .	10	15	12

	AVRIL	MAI	JUIN
Montpellier.. .	11 24	3 12 25	15 3
Nancy	12	10	12 17
Bruxelles. . .	13	1 16	3

Nous avons réuni dans le tableau suivant la date d toutes les journées de 1883 à 1886, où dans l'interval du 15 mars au 15 mai le thermomètre à 2^m est descend au-dessous de zéro. On y a joint tous les principau abaissements au-dessous de zéro du thermomètre $0^m,20$ pris mensuellement par ordre de grandeur. Enfi on a ajouté, pour les mois qui n'ont pas eu de gelées, l date des journées où le thermomètre a atteint un m nimum de température. De telle sorte que ce table peut être considéré comme un relevé impartial de

incipaux abaissements de température observés de 83 à 1886 à Montpellier.

ıtes des périodes de refroidissement observées pendant le printemps des années 1883 à 1886

Dates	Therm. à 0m,20	Therm. à 2m	Durée du refroidissement précurseur.
) 14 mars 1883 . .	—9°,	—5°,	2 jours
21 mars . . .	—2°,3	—0°,4	1
) 29 mars	—3°.5	—1°,	0
) 9 avril.	—1°,3	+1°,3	1
) 12 avril.	—0°.8	+2°,8	0
) 25 avril.	+0°,2	+3°	1
) 12 mai	+0°,5	+3°	2
) 26 mars 1884 . .	—3°,2	—0°,8	4
) 27 mars	—1°,4	+1°,3	5
4 avril.	+0°,7	+2°	0
) 12 avril.	—0°,6	+1°,8	4
) 23 avril.	+0°,7	+3°	0
) 9 mai	+5°,5	+8°	4
) 26 mars 1885 . .	—4°,4	—2°.7	2
30 mars	—2°,7	+0°,3	1
) 10 avril.	—3°,2	+1°,5	0
) 12 avril.	—1°,2	—2°,0	0
) 11 mai	+4°,5	+7°,0	0
16 mars 1886 . .	—4°	—2°	1
) 10 avril.	—0°,2	+2°,6	1
) 12 avril.	—0°,3	+2°,4	3
17 avril.	+0°,5	+2°	1
) 3 mai	+1°	+4°,5	2

La dernière colonne du tableau précédent mentionne nombre de jours où la baisse des températures mi-

nima a précédé la date de la gelée. On voit que quelques gelées de printemps sont précédées quelques jours à l'avance par un refroidissement progressif de l'atmosphère, il en est d'autres qui se produisent à la suite d'un refroidissement brusque, sans être aucunement indiquées par l'allure du thermomètre dans les journées précédentes.

On a fait précéder de la notation (*v*) les dates de toutes les gelées ou des maxima de refroidissement qui correspondent aux périodes établies par les travaux de M. Roche. On voit que les coïncidences sont beaucoup plus nombreuses que les discordances, bien que le nombre de jours compris dans les 6 périodes réunies de refroidissement indiquées plus haut comprenne moins de la moitié de l'intervalle du 15 mars au 15 mai.

Le Dr Assmann a également établi, par une statistique de plusieurs années d'observations, que le mois de mai présentait, du 11 au 15, une période spécialement critique de gelée.

Probabilité des chances de gelée pendant le mois de mai.

Du 1er au 5 mai.	23	chances de gelée
Du 6 au 10.	25	—
Du 11 au 15	27	—
Du 16 au 20	15	—
Du 21 au 25	5	—
Du 26 au 31	3	—

La constatation de ces refroidissements périodiques n'a pas reçu jusqu'ici d'explication satisfaisante. On a fait intervenir tour à tour les essaims périodiques d'étoiles filantes, les variations périodiques des déclinaisons lunaires, le transport périodique des glaces

laires vers les régions tempérées, la période moyenne vingt-six jours de la rotation du soleil autour de ses les.

On peut remarquer qu'il est en tous cas beaucoup ıs logique d'admettre que les variations de la tempé- ture et leurs dates sont liées aux phases successives la marche du soleil plutôt qu'à celles des lunaisons. En s'appuyant sur les remarques qui précèdent, il t quelquefois possible de prévoir l'intensité du rayon- ment nocturne à l'avance, soit en lui assignant des oques plus spéciales dans le cours de l'année, soit en duisant les chances de gelée de la température de la ille. Mais à quoi servirait en pratique une telle pré- ision, s'il était impossible de s'opposer aux effets du yonnement nocturne? Comment soustraire la végéta- ın à ces refroidissements périodiques exagérés de la mpérature de l'air? C'est ce que nous allons examiner prenant la vigne comme sujet de nos observations, rce que c'est le végétal dont la culture, fort étendue, le plus à lutter contre les effets désastreux des gelées printemps. Les procédés pratiques de défense que ıus aurons l'occasion de relever seront, la plupart du mps, directement applicables à la protection des autres égétaux.

ıOCÉDÉS DE DÉFENSE CONTRE LES EFFETS DU RAYONNEMENT NOCTURNE

Le gel du bourgeon et des jeunes pousses des végé- ux est entraîné par deux causes distinctes: 1° refroi- ssement général de la masse d'air qui circule autour

de la plante; 2° refroidissement local du bourgeon soumis au rayonnement.

Les méthodes de protection proposées jusqu'à ce jour agissent soit sur l'une, soit sur l'autre de ces causes, soit sur toutes les deux à la fois. Nous les passerons successivement en revue.

La période la plus meurtrière des gelées de printemps paraît être celle qui surprend le bourgeon de la vigne dans la première phase de son évolution. Le duvet cotonneux qui recouvre alors les yeux de la vigne se prête mieux au rayonnement nocturne que dans les périodes antérieures; le bourgeon, qui commence à se gorger d'eau, est plus facilement désorganisé par la gelée et celle-ci est en général plus intense ou de plus longue durée que vers la fin de la période des gelées de printemps. Un certain nombre de procédés de défense ont spécialement pour but la protection du sarment pendant cette courte période de la végétation.

Le procédé de protection le plus parfait serait évidemment de retarder assez l'époque du débourrement, pour la reporter au delà de la première période critique des gelées de printemps. La méthode de taille en deux temps, qui consiste à laisser subsister jusqu'au départ de la végétation les principaux sarments nécessaires à l'établissement de la taille définitive, tend essentiellement à ce résultat. L'activité de la végétation, distribuée sur un plus grand nombre d'yeux, semble ralentie à son départ, et l'on peut retarder ainsi de plusieurs jours l'époque du débourrement.

La pratique de la submersion des vignes, en abaissant la température du sol et celle de l'air et retardant leur échauffement, peut aussi différer de quelques jours le départ de la végétation et contribuer ainsi à éviter,

dans certains cas, les effets désastreux des gelées précoces.

On a remarqué aussi que les badigeonnages faits avec des dissolutions concentrées de sulfate de fer, en vue de prévenir le développement de l'anthracnose ou de diverses affections cryptogamiques, retardaient notablement l'époque du bourgeonnement.

Enfin, le choix de cépages à débourrement tardif est évidemment tout indiqué pour les vignobles établis dans des régions ou sur des expositions où les gelées de printemps se produisent fréquemment et présentent leur plus grande nocuité à l'époque du départ de la végétation.

On peut encore signaler comme procédés de protection les précautions culturales que l'on peut observer en vue de diminuer dans les vignobles l'intensité du rayonnement du sol qui entraîne le refroidissement général de la nappe d'air voisine et favorise l'abaissement exagéré de la température des corps qui y sont plongés. Une terre récemment labourée rayonne plus activement qu'une terre depuis longtemps rassise. La présence d'herbes ou de cultures intercalaires augmente de même la valeur du rayonnement nocturne.

L'expérience semble en outre avoir démontré que les terrains bas et humides sont parfois plus gravement atteints par les gelées de printemps (1). On ne peut dans ce cas en accuser le rayonnement, qui devrait y être plus faible en raison de l'opacité de la vapeur d'eau pour les rayons de chaleur obscure. Mais on peut supposer que les condensations d'humidité qui se produisent sur

(1) Voir plus loin : *Protection contre les gelées par l'irrigation.*

les bourgeons dans de tels milieux ne sont pas sans déterminer une aggravation dans les désorganisations de tissus provoquées par la gelée. Les dégâts paraissent plus intenses lorsque les condensations sont favorisées par l'immobilité de l'air déterminée par des haies ou des murs.

Il résulte de l'ensemble de ces faits les conclusions pratiques suivantes, qui sont du reste généralement observées par les vignerons :

1° Ne pas remuer le sol pendant la période des gelées de printemps ;

2° Ne pas mélanger à la vigne des cultures intercalaires ;

3° Eviter son envahissement par les mauvaises herbes en automne, afin que le sol soit net au printemps;

4° Drainer les sols humides sujets aux gelées printanières et laisser libre accès aux courants d'air en supprimant les haies et les obstacles divers qui entraînent sur ces terrains la stagnation de l'atmosphère.

Malheureusement, ces précautions, que l'on peut recommander, ne sont pas toujours suffisantes ou toujours applicables. Il n'est pas toujours possible de dessécher économiquement un sol humide et l'on peut être amené à remuer le sol de sa vigne avant l'expiration des derniers délais accordés aux gelées de printemps.

Procédé des écrans protecteurs.— Les gelées blanches déterminées par l'exagération du rayonnement nocturne ne sauraient être conjurées par ces divers procédés. Il faut avant tout agir sur la cause du phénomène et l'emploi d'écrans protecteurs supprimant le rayonnement paraît tout indiqué.

Le Dr Guyot a proposé, dans ce but, l'emploi de paillassons, supportés d'une part par un billon établi parallèlement aux lignes de ceps, et, d'autre part, par les échalas plantés au pied de chaque souche.

J'ai vu également employer avec succès, chez M. Robin, à Lapeyrouse-Mornay (Drôme), pour des vignes taillées à court bois et à faible développement, une simple tuile creuse appuyée sur le courson le plus élevé du cep par sa partie supérieure et reposant sur le sol et au nord de la souche par sa partie inférieure. Cette disposition réalise à la fois un abri contre les vents froids du nord et contre l'activité zénithale du rayonnement nocturne. Les écrans de M. Maître reproduisent, du reste, au prix de 125 fr. le mille, la même disposition.

Enfin, dans ces dernières années, on a proposé diverses formes d'écrans : feuilles ou cornet de carton imperméable, de bois mince ou de papier bitumé, se fixant soit directement sur la souche, soit sur l'échalas qui lui sert de tuteur. Ces divers écrans demandent à être remplacés assez fréquemment ; ils offrent de plus, en général, assez de prise au vent qui peut emporter ou abattre les échalas qui les supportent. Il paraît plus économique de remplacer ces divers systèmes d'écrans par des fascines de bruyère, des balais de genêt ou des fagots de sarments attachés à l'échalas au-dessus de la souche ou sur le fil de fer supérieur des vignes palissées, soit encore simplement déposés sur les coursons du cep à protéger. Les matières premières ainsi utilisées n'ont qu'une faible valeur et leurs qualités de combustibles ne sont pas sensiblement altérées par une exposition de deux ou trois mois dans le vignoble. On peut donc les remplacer chaque année sans autres frais que ceux de main-d'œuvre.

Il est utile de faire remarquer qu'il n'y pas un grand intérêt à exagérer les dimensions de l'écran protecteur. La théorie et l'expérience indiquent à la fois que l'intensité du rayonnement est maxima dans la direction zénithale et fortement atténuée au contraire dans les directions plus ou moins voisines de l'horizon. Le refroidissement d'un corps soumis au rayonnement est, en effet, pour chacun de ces points, proportionnel à la différence de la quantité de chaleur émise avec la chaleur reçue des diverses directions où il rayonne. Or, la surface du sol, qui émet de la chaleur, réchauffe surtout la portion du sarment tournée vers la terre. Les couches de l'atmosphère voisines de l'horizon, plus chargées de vapeur et plus absorbantes, arrêtent au passage la chaleur émise par le sol et la renvoient vers les parties latérales du cep. Les régions supérieures de l'atmosphère, plus transparentes, laissent au contraire passer à peu près toute la chaleur émise par le sol et ne restituent presque rien au sarment, qui se refroidit surtout par sa face supérieure.

Un abri, fort réduit, placé directement au-dessus des bourgeons à protéger, peut réaliser parfaitement une protection efficace. L'avantage des écrans un peu larges est de réfléchir vers le sol et par suite vers le cep une plus grande quantité des rayons calorifiques qu'il émet et d'empêcher ainsi, avec le refroidissement rapide du sol, l'abaissement de température du cep qui le suit d'assez près.

Nous avons fait remarquer que le refroidissement des bourgeons était sous la dépendance directe du pouvoir émissif de leur enveloppe. On a par suite conseillé d'enduire leur surface d'une substance qui se prêtât moins à l'activité du rayonnement nocturne. M. de Gasparin

a proposé dans ce but d'enduire les ceps, à la fin de l'hiver, avec un lait de chaux. En Italie, le Dr Giotti saupoudre abondamment, à l'aide d'un mélange de deux portions de cendre tamisée et de une de soufre, les jeunes bourgeons à peine sortis de leur duvet. En France on a essayé dans quelques vignobles l'emploi de la sulfostéatite et du plâtre en poudre. Il semble que l'adoption d'une substance donnant un enduit plus uni que les corps précédents devrait produire des résultats plus satisfaisants.

Le procédé de M. Renard, qui consiste à emmailloter chaque sarment dans un étui d'une vingtaine de brins de paille retenus par deux ou trois anneaux en petit fil de fer galvanisé, réalise la même protection, mais semble exiger des frais de main-d'œuvre très considérables.

Les gelées de printemps peuvent, en général, bien que les deux actions soient toujours associées, être divisées en deux catégories : les unes dues au refroidissement général de l'air, *gelées à glace ;* les autres dues aux effets locaux du rayonnement nocturne, *gelées blanches*. Les premières peuvent être combattues par des abris qui protègent les ceps isolés ou le vignoble tout entier contre l'action des vents froids déterminant les minima de température. Les enclos fermés de murs élevés jouissent parfois d'un bénéfice de température qui peut atteindre plusieurs degrés et prévenir le gel des bourgeons au moment où les autres vignobles sont atteints par des gelées à glace.

On a conseillé, dans le même but, de former au nord des rangées de vigne des ados ou billons formant abri, ou bien encore de creuser des fossés le long des rangées de ceps et d'y coucher les sarments avant le départ

de la végétation. Ce dernier procédé ne paraît pas devoir être recommandé tant à cause des frais d'exécution assez élevés que parce qu'il détermine un relèvement de la température moyenne dans le voisinage du sarment et entraîne un débourrement hâtif.

Enfin, l'influence de la plantation des échalas à la fin de l'hiver, qui paraît, en Champagne, protéger les vignobles contre les gelées, peut s'expliquer surtout par l'obstacle apporté dans le vignoble à l'intensité du rayonnement et à la libre circulation des vents froids. Le nombre considérable d'échalas à l'hectare, qui peut s'élever à 50,000 et 60,000, doit produire un peu le même résultat qu'un écran protecteur établi au-dessus du vignoble.

Les divers procédés de défense que nous venons de signaler entraînent souvent des dépenses exagérées soit comme achat de matières premières (écrans), soit surtout comme frais de main-d'œuvre. Il est en effet à remarquer qne les gelées de printemps sont surtout à redouter dans les régions septentrionales, où le nombre de pieds à l'hectare atteint son maximum. Si l'on se proposait notamment d'appliquer le procédé Renard à un vignoble de Champagne, on voit qu'en se bornant à défendre deux sarments par souche, il ne faudrait pas moins de 100,000 étuis de paille comportant 300,000 ligatures par hectare. Il est assez probable qu'il serait plus économique de sacrifier chaque année sa récolte que de la défendre à un pareil prix.

Ces divers procédés de défense sont au contraire tout indiqués pour protéger un vignoble restreint, donnant un produit très rémunérateur ou procurant à son propriétaire un sentiment qu'il vaut peut-être mieux ne pas analyser complètement, mais qui n'en a pas moins

un prix inestimable : celui de pouvoir boire soi-même ou faire déguster le vin de sa vigne à un malheureux voisin qui a été « gelé ».

Il y a encore lieu de ne pas reculer devant la dépense des écrans protecteurs lorsqu'il s'agit de sauver sûrement quelques ceps que l'on désire multiplier et dont la suppression pourrait entraîner de graves mécomptes et pour la bourse de leurs propriétaires et pour celle de tous les vignerons qui pourraient bénéficier un jour de la multiplication de ces heureux cépages.

Procédé des nuages artificiels. — Les recherches des physiciens sur les conditions du rayonnement nocturne, en indiquant les nuages de vapeur comme la cause essentielle du ralentissement de l'émission de chaleur par le sol vers les espaces célestes, faisaient prévoir assez directement la possibilité d'entraver le rayonnement nocturne. Au nuage naturel absent, il suffisait de substituer le nuage artificiel.

L'emploi des nuages artificiels est loin toutefois d'être une invention moderne.

« Quand vous avez des craintes de gelée, écrivait Pline, brûlez dans les vignes et dans les champs des sarments, des tas de paille ou des herbes, ou des broussailles arrachés ; la fumée sera un préservatif. »

L'inca Garcilaso rapporte que, avant la conquête du Pérou par les Espagnols, « lorsque, à la nuit tombante, le ciel était découvert, les Indiens craignant la gelée brûlaient du fumier afin de produire de la fumée, et chacun d'eux en particulier tâchait de faire de la fumée dans son enclos, parce qu'ils disaient que la fumée empêche la gelée en remplissant comme les nuages l'office d'une couverture.»

Au siècle dernier, les nuages artificiels étaient employés dans le Tyrol, en Champagne, en Bourgogne, en Alsace, dans le Wurtemberg. En 1791, on les employait en Bavière pour protéger les vignobles de Wurtzbourg.

M. Martins, vers 1860, signalait à M. Boussingault l'emploi de la fumée aux environs d'Avignon pour défendre les oliviers de la gelée.

En 1867, M. Gaston Bazille mentionnait, dans son rapport au jury de la prime d'honneur, les résultats qu'il avait obtenus dès le printemps de 1864 dans son domaine de Saint-Sauveur. Une seule ligne de godets remplis d'huile lourde, échelonnés à 20 mètres de distance, avait suffi à former un nuage de fumée s'étendant sans discontinuité à plus de deux kilomètres au sud du vignoble protégé.

En 1873, des expériences furent faites à Lyon et à Suresnes par la Société des agriculteurs de France, et, la même année, M. le Dr Menudier sauvait, d'une gelée de — 3°, son vignoble des Charentes. Depuis lors l'application des nuages artificiels s'est généralisée, surtout dans les Charentes et la Gironde, où plusieurs propriétaires les ont fait rentrer dans les opérations annuelles de culture exigées par la vigne.

Le but des nuages artificiels est à la fois de diminuer le rayonnement du sol et des bourgeons de la vigne qui détermine les gelées de printemps et aussi, et peut-être même surtout, d'empêcher l'arrivée trop rapide des rayons de soleil sur les organes congelés. Cette seconde action est facile à vérifier sur bon nombre de végétaux qui persistent tout l'hiver, bien qu'ils gèlent un grand nombre de fois. Telle est, par exemple, la giroflée des jardins qui peut supporter des froids de —

10°, flétrir chaque matin et reprendre dans le cours de la journée sa vitalité si son dégel a lieu à l'ombre.

Les conditions à remplir par les foyers qui donnent naissance aux nuages artificiels sont essentiellement de fournir une fumée intense et la plus opaque possible, qui arrête soit le rayonnement du sol, soit les radiations du soleil. Un grand nombre de procédés ont été proposés et appliqués pour produire des fumées abondantes.

Les Indiens faisaient brûler du fumier; on a essayé des tas d'herbes, de broussailles ou de balles de blé arrosés de goudron de houille. Puis, comme ces matières étaient parfois difficiles à protéger de la pluie, rebelles à l'allumage et d'un transport difficile dans le vignoble, on leur a bientôt substitué des foyers spéciaux de dimensions plus réduites et plus facilement transportables.

M. Gaston Bazille employait, en 1864, des écuelles de terre de 0 fr. 10 la pièce, pleines d'huile lourde de goudron de houille à 6 fr. les 100 kilog., que l'on allumait avec des torches de résine.

On a employé dans le même but, et notamment dans les Charentes, des marmites en fonte à couvercle d'une contenance de 4 litres, remplies d'huile lourde que l'on allumait en y déposant un torchon de paille enflammé et préalablement trempé dans l'huile lourde. Le couvercle a l'avantage de protéger les foyers de la pluie et de permettre leur extinction rapide pour les transporter sur un autre point du vignoble ou bien encore pour mettre fin à la production des nuages artificiels.

On s'est servi dans les Landes, la Gironde et les Charentes, de caisses en bois remplies de résines impures. Ces caisses peuvent s'éteindre assez facilement en les

renversant sur le sol, et l'imperméabilité de la résine à la pluie assure la conservation de leur inflammabilité. M. Lestout, fabricant de produits résineux à Bordeaux, livre des foyers renfermés dans des caisses cubiques de $0^m,15$ de côté environ et du poids de 7 kilog., donnant une combustion de quatre heures, au prix de 0 fr. 75.

Enfin on a cherché à régulariser la combustion des résines ou des huiles lourdes en les incorporant dans des substances poreuses : tourbe, balles de blé que l'on moule en blocs cubiques ou coniques analogues à des agglomérés. Leur combustion est en général régulière et l'on évite les inconvénients des foyers de résine pure qui peuvent crever, se répandre en brûlant trop vite sur le sol et en réduisant la durée de leur protection efficace.

On remarquera que, dans ces divers systèmes de foyers, la protection est toujours obtenue par l'écran nuageux constitué par les fines particules de carbone en suspension dans l'atmosphère. On peut donc se demander s'il n'y aurait pas lieu de rechercher, au point de vue thermique, un corps doué d'une absorption plus intense et d'un prix de revient aussi peu élevé.

Les études de Tyndall sur la transmission des rayons de chaleur au travers de divers milieux ont montré que l'absorption par diverses substances optiquement transparentes était parfois considérable. De ce nombre sont les vapeurs émises par les essences végétales, le gaz ammoniac et les gaz composés en général.

Le tableau suivant donne l'absorption comparée de divers gaz sous la même pression et la même épaisseur :

Nature des gaz	Absorption proportionnelle
Air	1
Acide carbonique	90
Acide sulfhydrique	390
Acide sulfureux	710
Gaz oléfiant (bicarbure d'hydrogène)	970
Gaz ammoniac	1195

Des quantités d'essences végétales infinitésimales, diluées dans l'air, ont donné de même des absorptions considérables.

Nature des essences	Absorption proportionnelle
Air pur et sec	1
Air parfumé au patchouli	90
Air — au thym	68
Air — au romarin	74
Air — à la grande lavande	355
Air — à l'anisette	372

Aussi, M. Tyndall (1) fait-il remarquer que le vent du Midi, soufflant sur une plate-bande de violettes, peut plus pour intercepter le rayonnement terrestre que l'atmosphère entière, depuis la plate-bande jusqu'au firmament.

On pourrait donc recommander de projeter sur les foyers, pendant la combustion, soit un sel ammoniacal volatil (carbonate d'ammoniaque), soit un mélange de chaux et de chlorhydrate d'ammoniaque dégageant du gaz ammoniac, si le prix de ces matières n'était relativement élevé.

(1) J. Tyndall. — La chaleur, mode de mouvement, p. 332.

Enfin, dans le cas où les foyers seront formés de broussailles empruntées aux garrigues, on voit que l'on devra choisir de préférence les herbes aromatiques : thym, romarin, lavandes et labiées en général. Il est regrettable que les expériences propres à éclairer sur la valeur pratique de ces diverses additions soient d'une réalisation fort délicate et par suite fort difficile.

La vapeur d'eau condensée exerce, elle aussi, une absorption très intense sur la chaleur rayonnante, et la production de nuages de vapeur donnerait une protection parfaitement comparable à celle des nuages de fumée. Il est néanmoins nécessaire de faire observer que la sécheresse de l'air, qui coïncide assez souvent avec les gelées de printemps, dissiperait assez rapidement le nuage de vapeur à peu de distance de son point de formation.

Toutefois, la combinaison des deux absorbants, vapeur d'eau et particules de noir de fumée, ne peut donner que des résultats avantageux et peut-être convient-il de lui attribuer la supériorité de classement obtenue dans une expérience comparative faite vers 1874 à Sainte-Estève (Gironde), où les fumées les plus abondantes et les plus opaques furent fournies par des tas de broussailles ou de balles de blé (toujours humides), arrosés de 2 à 3 kilogrammes d'huile lourde de goudron de houille. On ne saurait désapprouver la tendance actuelle des viticulteurs de notre région qui renoncent aux foyers préparés par l'industrie pour recourir au procédé plus économique que nous venons d'indiquer.

Les inconvénients des foyers créés sur place sont l'encombrement qu'ils peuvent occasionner, la difficulté de leur extinction au cours de leur combustion, celle de leur

allumage quand ils ont été mouillés par une pluie récente.

Il est aussi utile de faire remarquer que tous les foyers, en général, permettent de produire simultanément un nuage de vapeur et de fumée. Il suffit de les asperger d'eau avec précaution pendant leur combustion. M. Lestout (1) conseille, pour développer rapidement un nuage intense, de prendre une cruche d'eau, un petit balai ou un torchon de paille et d'asperger successivement ses foyers résineux quand ils sont bien allumés, en évitant néanmoins de jeter trop d'eau à la fois.

La vapeur d'eau formée dans ces conditions se condense partiellement dans l'air et partiellement sur les corps froids (sarments) qu'elle rencontre sur son passage. Cette condensation est la source d'une restitution de chaleur correspondant à celle empruntée pour la formation de la vapeur. Cette action peut donc amener un réchauffement sensible du vignoble, en s'ajoutant à celui produit par la combustion des foyers.

M. Faure, président du Syndicat de Saussac (Médoc), cite le résultat d'une expérience faite en avril 1888, dans laquelle l'allumage des foyers produisit, au bout de quelques minutes, la fonte des gouttelettes de glace qui s'étaient formées sur les fils de fer du vignoble avant l'allumage.

Nous ne saurions mieux faire que de reproduire ici, d'après M. Lestout, la manière d'employer ses foyers (1), d'autant plus qu'un certain nombre de recommandations sont applicables à tous les foyers :

---

(1) Lestout. — Circulaire sur la manière d'employer les r résineux.

« Placer les foyers à 10 mètres les uns des autres sur une seule face du vignoble.

» S'il a plu les jours précédents, incliner les caisses pour faire écouler l'eau avant l'allumage.

» Un enfant passe avec une torche et allume simplement les foyers s'ils comportent une mèche d'allumage; dans le cas contraire, verser au préalable un peu d'essence de pétrole.

» Pour éteindre les foyers, les recouvrir d'une caisse un peu plus grande que le foyer et l'emboîtant entièrement. On les recouvre l'un après l'autre; quelques secondes suffisent. Il est bon, au moment de l'extinction, de jeter sur les foyers une poignée de foin ou de paille sèche qu'on imbibe de la matière combustible fondue pour faciliter le rallumage ultérieur. »

Disposition des foyers dans le vignoble. — La disposition à adopter pour la répartition des foyers dans le vignoble varie essentiellement avec le régime des vents de la région. S'il n'y a pas de vents dominants et si l'on peut compter indifféremment, au lever du soleil, sur un vent du nord ou du sud, de l'ouest ou de l'est, il convient d'entourer le vignoble d'un cordon de foyers suffisamment rapprochés à 10 ou 20 mètres d'intervalle et de recouper ensuite l'intérieur du vignoble par une série de lignes de foyers beaucoup plus espacés. On pourrait, par exemple, espacer les lignes intérieures à 100 mètres et espacer les foyers à 40 ou 50 mètres sur les lignes.

Au moment de l'allumage, on vérifiera, par l'orientation de la fumée d'un premier foyer allumé, quelle est la direction du vent, et l'on allumera d'abord les deux rangées du périmètre du vignoble, dont les fumées

poussées par le vent pourront bientôt recouvrir toute a surface. Si le vignoble est, par exemple, un rectangle orienté nord-sud et que le vent souffle du Nord-Ouest, on allumera les deux rangées du périmètre correspondant aux côtés qui font face à l'Ouest et au Nord. L'allumage des deux rangées opposées serait évidemment nutile.

Si le déplacement des fumées est trop lent par un vent trop faible, ce qui se produit assez souvent dans es régions où n'existe pas un vent dominant, on allumera les foyers intérieurs. Si enfin le vent saute et souffle brusquement en sens inverse, on éteindra les premières rangées allumées pour enflammer les deux autres lignes de foyers sur les bords opposés du vignoble.

On voit que, dans les conditions les plus défavorables, a défense d'un hectare de vigne demandera de 20 à 30 oyers. Ce nombre peut être considérablement réduit orsque les conditions de défense sont plus favorables.

On peut en effet remarquer que les gelées de printemps se produisent surtout par des matinées calmes, ù aucun courant d'air emprunté à des régions éloignées e vient modifier la direction des courants d'air locaux. Dans ces conditions, le faible courant d'air dont on constate alors l'existence revêt en général la direction du *vent dominant* de la région. Sur les côtes de l'Océan, ans les Charentes et la Gironde, ce sera le vent d'Ouest; ans la région méditerranéenne, ce seront les vents du Nord.

Quant à la direction exacte du courant, elle pourra tre en général assez bien prévue par la configuration opographique de la localité. Ces faibles courants d'air e canalisent en effet le plus souvent dans l'axe des val-

lées dont ils épousent très sensiblement la direction. Si le vignoble est installé dans une vallée courant du nord-est au sud-ouest, alors que le vent dominant de la région souffle du nord-nord-ouest (région de Montpellier), la direction de la faible brise qui soufflera sur le vignoble vers le lever du soleil sera très sensiblement celle du nord-est ou du nord-nord-est.

Il faut encore tenir compte, pour la détermination du vent qui prédomine à l'époque des gelées de printemps, du phénomène bien connu de la *brise de terre*. Pendant la nuit, l'air de la terre se refroidit plus vite que l'air de la mer ; un courant d'air froid s'écoule par suite depuis les premières heures de la journée, au niveau du sol, dans la direction du littoral. Ce phénomène peut s'étendre à une assez grande distance des côtes, surtout lorsque le courant peut s'encaisser dans une vallée perpendiculaire au littoral. A Montpellier, la brise de mer est encore fort sensible en été, époque de son maximum, jusqu'à 12 kilomètres de la mer, ainsi que le prouvent les documents recueillis à l'Ecole d'agriculture (1).

Dans notre région méditerranéenne, le sens du courant de la brise de terre coïncide avec le vent dominant et en assure la fixité. Dans la Gironde, au contraire, il est de sens contraire au vent dominant et prédomine en général tout au moins dans les vallées courant de l'ouest à l'est et à proximité des côtes. Aussi, les viticulteurs de ces régions comptent-ils surtout sur la brise venant de l'est et disposent leurs foyers en conséquence.

On peut donc, d'après la statistique des vents dominants, la configuration topographique de la région, la

(1) *Annales de l'École d'agriculture de Montpellier*, t. v, p. 35.

'oximité du littoral, déterminer assez exactement, dans ıgrand nombre de cas, la direction du vent qui entraî- ɜra le nuage de fumée sur le vignoble. On se conten- ıra alors de disposer les foyers sur deux bords seule- ıent du vignoble à protéger, de manière à ce que les 'aînées de fumée le recouvrent complètement. On ourra même disposer les foyers sur les bords des vi- nobles à des distances inégales pour chacune des deux ıngées, mais déterminées de manière à ce que les traî- ées de fumée parallèles de chaque foyer soient équi- ıstantes sur toute la surface du vignoble.

C'est une telle disposition qui est indiquée dans la igure 64, où les foyers répartis sur A B sont beau- oup plus espacés que sur A D.

On remarquera en outre que les foyers voisins du oint D dans chaque rangée n'émettent utilement leur ımée que pour une petite partie du vignoble, et l'on oit de suite l'intérêt que présente l'extension du vigno- le dans le sens des courants d'air dominants. Les yndicats formés par les propriétaires pour l'applica- on des nuages artificiels paraissent donc appelés un avenir certain, puisqu'ils réduisent considéra- lement les frais de dépense par hectare en protégeant ne zone très étendue en profondeur (2 à 3 kilomè- 'es) à l'aide d'une seule rangée de foyers. L'obstacle rincipal apporté à la formation de ces syndicats résulte ɜ la non continuité des vignobles des intéressés qui ıglobent souvent au milieu d'eux d'autres vignobles ɔnt les propriétaires bénéficient sans bourse délier des ımées produites chez leurs voisins. Il peut même 'river qu'une saute de vent mette à découvert le vi- ıoble des syndiqués et protège les vignobles avoisi- ınts. Le syndicat obligatoire apparaît comme le seul

remède radical, mais efficace à cet état de choses; M. Vassilière, dans un article inséré dans la *Petite Gironde*, numéro du 13 novembre 1890, n'hésite pas à le conseiller.

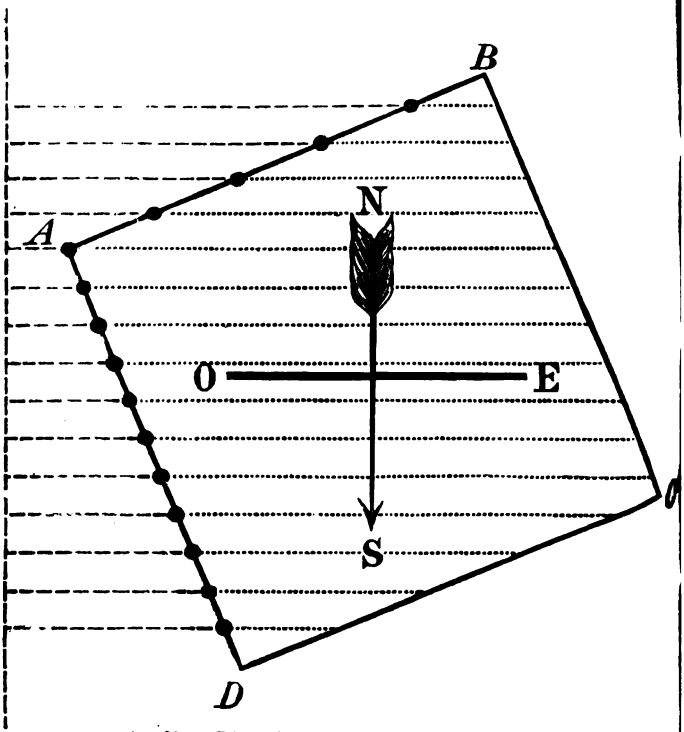


Fig. 64.— Disposition des foyers dans le vignoble.

Il est inutile d'ajouter que, dans le cas d'une organisation de défense par syndicat, les frais de protection sont assez réduits pour qu'on entoure le vignoble d'une

rangée de foyers sur toutes ses faces, afin de prévenir les brusques sautes de vent. On peut aussi recommander, dans ce cas, l'emploi de foyers facilement transportables, afin de pouvoir modifier à volonté, au cours de l'allumage, les lignes de défense et la répartition des foyers sur ces lignes.

Allumage des foyers. — La première question qui se pose naturellement est la suivante : A quelle température convient-il d'allumer les foyers ? Avant de donner une réponse décisive, il est utile de répondre à une question préalable : A quelle température les végétaux meurent-ils de froid ?

On peut poser en principe qu'un végétal dont les tissus sont en partie lignifiés, tel qu'un sarment de vigne ou un rameau aoûté de nos arbres fruitiers, ne meurt pas en général pour être descendu à quelques degrés au-dessous de zéro. M. A. Champin, dans un article inséré dans le *Progrès agricole*, rappelait ce fait intéressant que certaines variétés de vignes américaines supportent des froids de —20° et quelques variétés européennes le —40°.

Dès 1797, Pictet et Maurice, ayant enfoncé de $0^m,16$ le réservoir d'un thermomètre dans le tronc d'un marronnier de $0^m,60$ de diamètre, virent que la température de l'arbre suivait assez fidèlement la température de l'air à un jour d'intervalle. On voit par là que la température de nos arbres, quelque gros qu'ils soient, descend au-dessous de zéro dans tous les hivers où la température moyenne diurne est, pour une journée, inférieure à 0°.

Les observations de M. Bourgau, au Canada, ont montré que la température d'un peuplier balsamifère était

descendue à —30° au-dessous de 0°; la température de l'air était descendue à —35°, et l'arbre n'en mourut pas.

Il est vrai cependant que tous les tissus végétaux sont loin de présenter une égale résistance. Les sarments aoûtés de nos vignes supportent très aisément —8° et —10°, et les jeunes pousses gèlent à des températures très voisines de zéro.

L'expérience semble montrer que pour une même plante un tissu gèle d'autant plus facilement qu'il est plus riche en eau. On sait aussi que des mélanges d'eau et de matières salines gèlent d'autant moins facilement qu'ils contiennent une proportion de sel plus élevée et que l'alcoolité d'un vin abaisse sa température de congélation.

La présence de lacunes microscopiques dans les jeunes tissus des plantes paraît en outre favoriser leur congélation. Voici, d'après Sachs, quelles seraient les phases successives de la gelée d'un végétal. Dans une première phase, le contenu intérieur des cellules, le liquide et la matière vivante se refroidissent jusqu'à zéro degré ; la membrane partage le même sort, et sa structure subit alors une modification peu connue en vertu de laquelle elle laisse filtrer le liquide intracellulaire. L'eau vient cristalliser à la surface externe de la membrane et surtout en regard des parties vides (méats intercellulaires),

Le contenu de la cellule est donc peu à peu privé de son eau ; sa vitalité diminue, et il est probable que si le froid s'exagérait, il finirait peut-être par périr. Mais le plus souvent il arrive à la matière vivante de la cellule ce qui advient à certain rotifère que l'on peut dessécher

impunément et qui reprend la vie avec l'eau qu'on lui avait enlevée.

Si le dégel est lent, l'eau filtre par endosmose vers l'intérieur de la cellule au fur et à mesure de la fusion des cristaux de glace. M. Sachs a vu revenir à la vie des feuilles d'artichaut dans lesquelles l'examen microscopique avait permis de découvrir la formation de cristaux de glace empilés en quantité telle que plus d'un quart du poids du végétal était passé à l'état de glace solide.

Si le dégel est trop rapide, l'eau n'a pas le temps de rentrer dans les cellules ; elle se répand dans les tissus et chaque élément du végétal, revenu à la vie sous l'excitation des rayons solaires, est contraint de revivre sans avoir repris l'eau nécessaire à son fonctionnement normal. Le plus souvent, une mort rapide en est la conséquence ; le tissu de la plante, que l'on peut considérer comme formé alors d'une multitude de petits ballons dégonflés, flétrit et se fane, Le végétal fond en eau et se grille sous les premiers rayons du soleil.

Un explorateur et un habile observateur de la fin du siècle dernier, Dupont de Nemours, attirait, dès le 6 brumaire an XIV, l'attention de l'Académie sur un genre de mort qui doit n'être qu'apparent et rapprochait l'état d'un membre gelé de l'engourdissement périodique que subissent une foule d'animaux pendant les froids de l'hiver. Il cite l'opinion de Haller, qui regrettait que on n'eût pas essayé de ramener à la vie un homme qu'un torrent de glace fondante avait revomi plusieurs années après son engloutissement. « Il en est, dit-il, des membres des animaux comme de ceux des végétaux ; si l'on opère le dégel avec une sage lenteur, la partie gelée ne tarde pas à revenir à la vie. Si l'on

» veut remédier au gel d'un membre par des moyens » précipités, la distension trop rapide des fluides con- » tenus dans les vaisseaux capillaires les déchire... » comme il arrive aussi aux bourgeons des plantes que » les rayons du soleil frappent avant que le givre qui » les couvrait ait été dissipé, et qui n'éprouvent aucun » accident s'ils dégèlent par degré à l'ombre. »

Il paraît résulter à la fois de l'expérience et de l'observation que si le gel n'est pas en général dangereux pour la plante lorsqu'il est modéré, le dégel est toujours funeste s'il est trop rapide. Cette remarque explique une partie des insuccès relevés dans l'application des procédés qui suppriment le rayonnement nocturne, mais laissent les rayons du soleil levant frapper directement le végétal.

M. Müller-Turgau a observé que les tissus exposés au sud, ayant bénéficié plus longtemps de la chaleur automnale, étaient plus gorgés d'eau et devaient moins résister aux froids de l'hiver. Il a vu que l'on pouvait impunément refroidir un rameau de pommier à — 25° et qu'il ne périssait pas même à la suite d'un dégel fort rapide. Au-dessous de — 25°, le rameau gelé périssait, quelle que fût la lenteur du dégel.

D'autre part, M. Goppert a tenté toute une série d'expériences parallèles à celles de M. Sachs et arrive à un résultat sensiblement opposé. Il conclut, en effet, de ses recherches, que tous les soins qu'on met à ralentir le dégel des plantes sont inutiles, car si elles sont mortes, on ne les ressuscitera pas, et si elles ne le sont pas, la rapidité du dégel ne leur nuira en rien. M. Goppert a fait dégeler, par une température de + 25°, les bourgeons de quelques plantes ligneuses gelées à — 16°

ıt — 20° ; il a constaté après le dégel qu'elles n'avaient ıucunement souffert.

Nous ne tirerons de ces contradictions qu'une seule ;onclusion, à savoir que les plantes peuvent supporter ın certain degré de froid, et que si le dégel est lent, ılles peuvent périr ou ne pas périr, non pas lorsqu'elles ;ont dégelées par M. Sachs ou par M. Goppert, mais uivant que leurs tissus présentent une vitalité suffisante ›our cicatriser les déchirures provoquées par la formaion des cristaux de glace, ou bien que les modifications pportées à la matière vivante sont trop profondes pour ermettre sa plus ou moins rapide résurrection.

M. Prillieux a montré, dès 1870, que les tissus des lantes herbacées ne gelaient pas en bloc, mais que l'eau 'en isolait pendant la période du gel sous forme 'amas de glace assez volumineux et parfois régulièreıent disposés (tiges des labiées) ou constituant quelquefois un cylindre de glace continu (pétiole de la rose ·émière). Ces amas de glace se forment en général ›us l'épiderme ou sous les premières rangées du parenıyme sous-jacent. On a néanmoins constaté plus rareıent de grandes lacunes à gros amas de glace dans le ırenchyme médullaire (Anchusa). L'observation mi·oscopique montre en outre, et c'est là un point impornt, que tant que les cristaux ne prennent pas un développement tout à fait exceptionnel, les assises de cellus sont simplement décollées sans que les éléments ·ganiques soient déchirés, ainsi que pourrait le faire ıpposer le grand volume des glaçons que l'on observe. n est ainsi conduit à la conclusion par laquelle . Prillieux termine son étude et à admettre que la forıation, au milieu des tissus vivants, de lacunes où se

déposent les amas de glace, ne cause pas d'ordinaire de dommage notable aux plantes.

Dans un mémoire ultérieur, M. Prillieux a rapporté plusieurs faits qui montrent que la vitalité de la plante suffit quelquefois à cicatriser la désorganisation souvent profonde de ses tissus. Le vrai but à atteindre dans l'application des nuages artificiels n'est peut-être pas tant d'empêcher la température de descendre à zéro que de prévenir un refroidissement exagéré du végétal et de faciliter son retour à la vie par un dégel modéré.

En tenant compte de la rapidité avec laquelle s'abaisse la température qui peut, dans le voisinage du lever du soleil, décroître de 1° à 2° par heure, de la durée nécessaire à l'allumage des foyers dans le vignoble et de l'utilité qu'il y a de prévenir le refroidissement exagéré du végétal, on peut conseiller d'allumer les feux lorsque le thermomètre paraît baisser rapidement et que la température est encore de 1° à 2° au-dessus de zéro.

Mais on ne peut guère confier à un ouvrier le soin de lire chaque jour la température du thermomètre avant le lever du soleil. M. F. Benon (1) emploie néanmoins ce procédé avec succès aux environs de Cognac. Chaque matin, pendant les mois d'avril et mai, un domestique se lève à 3 heures; il va voir le thermomètre à alcool portant, à 2° au-dessus de zéro, un trait rouge bien apparent. Si l'alcool est descendu jusqu'au trait rouge, avec tendance à s'abaisser encore, on allume aussitôt, en procédant de la manière suivante: Un homme tenant à la main une lanterne et un bidon d'essence de pétrole verse quelques gouttes d'essence sur

(1) F. Benon. —*Nouvelliste de Bordeaux*, 22 décembre 1890.

chaque foyer. Un autre homme le suit avec une torche de résine et met le feu à l'essence. L'opération est ainsi très rapidement conduite; quatre hommes un peu exercés allument 150 foyers en 15 minutes. M. Benon a employé les foyers résineux Lestout.

Pour éviter cette surveillance de chaque jour, au cours de laquelle un seul oubli peut compromettre une récolte, on peut confier à des appareils automatiques le soin d'avertir le propriétaire de l'approche de la gelée ou même d'allumer en son absence les foyers protecteurs. De là, deux procédés applicables à l'allumage des nuages artificiels : 1° les thermomètres avertisseurs de la gelée ; 2° les allumeurs automatiques.

Thermomètres avertisseurs. — Ces instruments sont soit des thermomètres métalliques, soit des thermomètres à liquide établissant le passage d'un courant électrique dans une sonnerie pour une température déterminée.

La plupart des *thermomètres avertisseurs métalliques* sont mal disposés pour l'avertissement des gelées le printemps ; le réservoir thermométrique est le plus ouvent soustrait à l'action directe du rayonnement octurne. La température qu'ils indiquent diffère donc ssentiellement de celle que supportent les organes des égétaux. De plus, la masse assez considérable de leur rgane thermométrique les rend en général assez paresseux et le contrôle du réglage de leur dispositif mécaique est moins facile que celui d'un thermomètre à alool ou à mercure.

Les thermomètres *avertisseurs à liquide* sont de eaucoup préférables pour l'avertissement des gelées

de printemps. M. Eon (1) construit un thermomètre que nous retrouverons, avec de très faibles modifications, dans l'allumeur automatique de M. Héguilus. Le thermomètre construit par M. Eon consiste essentiellement en un thermomètre ordinaire à alcool dont le tube a été deux fois recourbé. Le réservoir étant placé en haut, un index de mercure assez long occupe la courbure inférieure et une partie des deux branches ascendantes de la tige. Un fil de platine traverse le tube de verre au milieu de la courbure inférieure et communique avec le mercure de l'index. Un deuxième fil de platine traverse le réservoir à alcool et descend dans la tige du thermomètre, jusqu'au niveau où l'index de mercure est rappelé, lorsque l'alcool du réservoir s'est contracté jusqu'à la température de zéro. Les deux bouts de fil de platine sont mis en relation avec les deux extrémités d'un circuit comprenant la pile et la sonnerie.

M. Eon a construit, en outre, un thermomètre analogue qui permet à l'opérateur de régler lui-même la température à laquelle il désire être averti. A cet effet, le fil qui traverse le réservoir ne descend pas jusqu'au niveau du zéro de la graduation, mais se prolonge par un autre fil mobile sur le premier à l'aide d'une petite spirale. Un index de fer doux est soudé au fil mobile qui peut ainsi être mis en mouvement, à l'intérieur du réservoir thermométrique, à l'aide d'un aimant extérieur. La position de l'extrémité du fil mobile, qui se meut en regard d'une graduation, indique la température de l'avertisseur.

---

(1) M. Eon, rue des Boulangers, 13, à Paris.

Allumeurs automatiques. — Les allumeurs automatiques que nous allons décrire provoquent l'allumage des foyers, indépendamment de l'intervention du propriétaire. Ils ont, disons-le tout d'abord, une supériorité et une infériorité sur les simples avertisseurs. Ils évitent, en effet, d'une part, les oublis et les hésitations de la personne chargée de l'allumage, qui n'a plus à se demander s'il fait réellement assez froid pour allumer les foyers. Mais, d'autre part, ils suppriment toute décision intelligente et peuvent allumer les feux au milieu de la nuit au lieu de les réserver plus utilement pour les heures voisines du lever du soleil. Il peut arriver, en outre, que si l'avertisseur a été réglé à $+1°$ ou $+2°$, le vigneron puisse se rendre compte par la marche stationnaire du thermomètre qu'il n'y a pas lieu d'allumer les feux. L'allumage automatique aurait évidemment supprimé cette utile hésitation.

Néanmoins il est des cas où le propriétaire, éloigné de son vignoble, ne voudra s'en rapporter qu'à lui-même pour l'allumage des foyers. Il décidera, en conséquence, l'allumage à une température déterminée et, quoi qu'il arrive, il sera bien sûr que ses volontés seront respectées s'il les a confiées à un allumeur automatique.

L'allumage automatique présente, en outre, l'avantage d'être à peu près instantané et de recouvrir en très peu de temps toute l'étendue du vignoble de fumées préservatrices, alors que le propriétaire, à cette heure matinale et imprévue, ne peut pas avoir sous la main le personnel nécessaire à la conduite rapide de l'opération.

Nous examinerons donc successivement les divers systèmes proposés dans ce but et en particulier l'allu-

meur de M. Héguilus, expérimenté à l'École d'agriculture de Montpellier.

L'électricité, par la rapidité de sa propagation dans les conducteurs et grâce aux phénomènes d'échauffement qu'y déterminent les courants ou les décharges électriques, se recommandait naturellement en première ligne parmi les divers modes d'allumage automatique.

On ne peut toutefois employer le procédé élémentaire d'allumage basé sur l'incandescence d'un fil métallique échauffé par le passage du courant, parce que le grand nombre d'amorces qu'il faudrait allumer simultanément nécessiterait l'emploi de sources d'électricité trop considérables et par suite une installation trop onéreuse.

Allumage par étincelles d'induction.— Afin d'atténuer la diminution d'intensité du courant imposé par la résistance des amorces, on a intérêt à employer des courants de grande tension, tels que les courants induits. Mais comme ces courants, par leur nature, auraient trop peu d'intensité pour provoquer l'allumage des amorces par l'incandescence d'un fil, on utilise l'action calorifique des faibles décharges données par l'étincelle qui jaillit entre les deux bouts du fil interrompu du circuit maintenus dans l'amorce à une faible distance.

Si la distance des deux fils dans l'amorce est faible et si les amorces sont disposées *en série*, une étincelle se produit à chaque interruption et peut enflammer toute une série d'amorces. Mais si une seule des amorces présente, par un défaut de construction, un trop grand écartement dans les deux fils de décharge, l'étincelle peut ne pas se produire et est supprimée dans toutes les autres amorces.

par la mèche de fulmicoton de l'allumeur, M. Lestelle met à leur base des matières très inflammables, telles que de la paille trempée dans du brai fondu, ou les filtres pailleux servant à l'épuration des résines. Le foyer est abrité de la pluie par une couverture de son de bois imbibée d'huile lourde de résine. Enfin, les allumeurs sont protégés des intempéries et de la chaleur du foyer par leur introduction dans un tuyau de drainage.

Lorsque la température extérieure descend à 2 degrés au-dessous de zéro, le circuit du thermomètre se ferme ; le courant anime aussitôt un petit électro-aimant situé dans le commutateur ; le mouvement d'horlogerie se met en marche et le courant induit de la bobine parcourt successivement les allumeurs qui allument tous les foyers en quelques secondes.

Il suffit de renouveler les amorces, le fulmicoton et le foyer pour que l'appareil soit de nouveau prêt à fonctionner.

M. Lestelle estime à 120 fr. par hectare les frais de première installation jusqu'à 20 hectares : appareils, fils, poteaux, main-d'œuvre.

L'installation principale, comprenant la guérite, les piles, le thermomètre, appareils, etc., coûte de 120 à 300 fr. selon l'importance du vignoble à protéger.

L'entretien annuel (foyer, amorces), basé sur une durée de 10 ans, revient à 12 ou 15 fr. par hectare.

Procédé Schaall et Œchslin. — La municipalité de Colmar a récemment organisé un service pour la protection de son vignoble contre les gelées de printemps par les nuages artificiels. Nous empruntons à l'appendice du *Traité de la vigne et de ses produits*, de MM. Portes et Ruyssen, la description du procédé d'allumage auto-

matique réalisé dans cette localité par MM. Schaall et OEchslin.

Le thermomètre avertisseur qui provoque l'allumage est un thermomètre à mercure, à tige coudée reposant en équilibre instable sur un axe transversal. Quand le mercure s'est contracté jusqu'à zéro, l'équilibre est rompu en faveur de la partie du thermomètre adjacente au réservoir. Le basculage du thermomètre provoque, par l'intermédiaire d'un levier, le déclanchement d'une tige qui, en se soulevant, met en liberté une série de fils de fer communiquant à autant de poteaux assez élevés distribués dans le vignoble.

Au sommet du poteau est amarrée une gourde en fer, dont la mise en liberté est provoquée par le relâchement du fil de fer communiquant avec le thermomètre. La gourde, mise en liberté, glisse brusquement le long d'une tige jusqu'au bas du poteau, et son choc contre un taquet qui l'arrête à fin de course détermine l'explosion d'une cartouche qui projette en dehors de la gourde du pétrole enflammé. Celui-ci vient se répandre sur un foyer disposé au bas du poteau et en détermine l'allumage. L'installation de ce procédé est estimée à 5,000 francs pour 80 hectares.

Ainsi qu'on le voit, l'allumage de chaque foyer demande une installation assez coûteuse et l'on est obligé de réduire beaucoup le nombre de foyers par hectare. Cette condition limite l'économie de ce procédé à la protection de vignobles d'une très grande surface. Mais le procédé Schaall et OEchslin a l'avantage de supprimer l'intervention de tout courant électrique ; l'allumage est entièrement obtenu par des moyens mécaniques. Aussi paraît-il devoir l'emporter en sécurité sur les autres procédés et peut-être y aurait-il lieu de chercher dans cette

voie à simplifier l'allumage de chaque foyer, afin de permettre son application à la protection d'un vignoble par l'emploi des foyer multiples.

Nous rapprocherons de ce dispositif l'idée que l'on nous signalait dernièrement de faire courir, le long de la ligne à protéger, un fil de fer unique maintenu fortement tendu par un ressort à l'une de ses extrémités. Le déclanchement du fil par l'électro-aimant, actionné par le thermomètre avertisseur, aurait provoqué sur toute la ligne l'inflammation des amorces distribuées dans le voisinage du fil de fer par le frottement du fil contre du fulminate. Mais quand il s'agit de réaliser pratiquement une combinaison mécanique, on peut se trouver arrêté, dès sa première tentative, par l'une de ces difficultés imprévues qui abondent sur la route des inventeurs, et la moindre réalisation effective d'un système mécanique vaut mieux en général que les projets les plus corrects établis sur du papier.

Procédé Héguilus. — Le procédé de M. Héguilus (1), que nous allons décrire en détail et qui a été expérimenté avec succès à l'Ecole d'agriculture de Montpellier, prend place entre le dispositif électrique de M. Lestelle et la combinaison mécanique Schaall et OEchslin. Réduit à ses organes essentiels, il comprend : 1° un thermomètre avertisseur provoquant par un déclanchement électrique l'inflammation d'une amorce ; 2° un dispositif de pyrotechnie transmettant l'inflammation aux divers foyers répartis dans le vignoble.

L'ensemble du procédé comprend un poste central

(1) Héguilus. — La vigne et les gelées printanières.

destiné à l'allumage de la première amorce, un fil de fer partant du poste central et courant le long de la ligne des foyers, des cônes d'allumage disposés sur le trajet du fil de fer en regard de chaque foyer, des fusées courant sur les fils et propageant l'inflammation de cône à cône et de foyer à foyer. Nous décrirons successivement chacun de ces organes.

1° *Poste central.* — Une boîte de bois de 0^m40 sur 0^m30, fixée à un poteau de 0^m80, contient à elle seule tout le dispositif réalisant l'inflammation de la première amorce lorsque la température de l'air descend à zéro. A cet effet, un thermomètre avertisseur à alcool, avec index de mercure, de construction à peu près identique à l'avertisseur de M. Eon précédemment décrit, est disposé, extérieurement à la boîte, sur une petite planchette.

Le courant d'une pile P P de deux éléments Leclanché enfermés dans la boîte, après avoir traversé les bobines d'un électro-aimant E E, arrive par la borne A au fil de platine qui pénètre dans le réservoir *t* et descend jusqu'en face du zéro de la graduation du thermomètre. Lorsque la température descend à zéro, l'index de mercure établit une communication entre la borne A d'entrée et la borne B de sortie, et le courant revient à la pile en traversant le circuit d'une sonnerie que l'on peut disposer dans l'appartement de la personne chargée de contrôler le bon fonctionnement de l'allumeur automatique.

Le passage du courant dans l'électro-aimant E E attire le fer doux *l l'* porté à l'extrémité d'un ressort. Ce fer doux se termine par un crochet qui dégage d'un cran d'arrêt une cheville fixée à l'extrémité supérieure

d'une tige mobile en laiton M M'. La tige M M', qui mesure environ 0^m10, glisse librement dans une coulisse

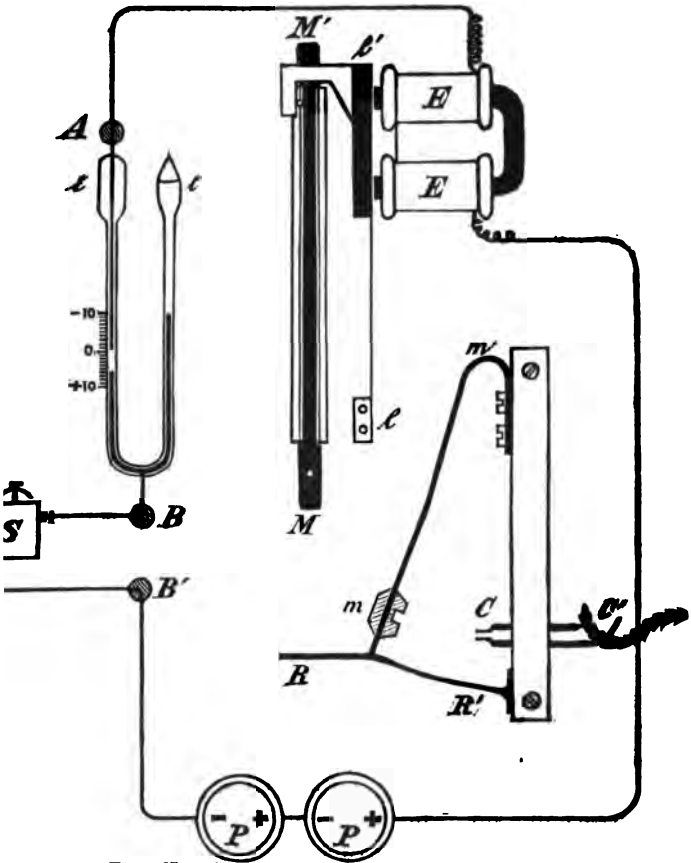


Fig. 65.— Poste central de l'appareil Héguilus.

et vient tomber brusquement en R sur l'extrémité d'un

ressort horizontal en acier R R'. Un second ressort *m' m*, qui tend à ramener avec une tension considérable la masse *m* vers le point C, s'engage dans un cran ménagé sur le ressort R R'. La chute de la tige M M' et le choc qui en résulte fait fléchir le ressort R R' et laisse échapper le ressort *m m'*. Le marteau *m* vient écraser une capsule de fulminate fixée sur la cheminée C C', au point C. L'explosion du fulminate enflamme au point C' une mèche de fulmicoton.

2° *Cônes d'allumage.* — Deux cônes en zinc de 0m20 de longueur sur 0m08 d'ouverture sont fixés extérieurement sur le côté de la boîte opposé à celui où est installé le thermomètre. Ces deux cônes, dont la disposition est à peu près celle de la fig. 67, ont leurs axes compris dans un plan horizontal et formant entre eux un angle de 90°. Ils sont orientés parallèlement aux deux côtés du champ, dont le poste central occupe l'angle.

Un fil de fer galvanisé, de 1 millim. 1/2 environ de diamètre, part du fond de chaque cône et va aboutir en face du premier foyer, au fond d'un cône semblable porté sur un piquet à 2 mètres environ au-dessus du niveau du sol. Sur ce fil de fer est supportée à l'intérieur du cône une fusée mobile dont la mèche est reliée, dans le premier cône de départ, à une mèche de fulmicoton partant de l'extrémité de la cheminée où a lieu l'explosion de la capsule de fulminate.

La fusée est liée à un bout de roseau creux *a b* (fig. 66) qui est enfilé sur le fil de fer; elle court donc librement, poussée par le recul de sa décharge, le long du fil de fer, avec une très grande vitesse et arrive dans le double cône d'allumage situé à 30 mèt. environ du premier.

Le double cône d'allumage (fig. 66), qui se reproduit identique à chaque foyer, est constitué par des cônes semblables A B et C D. L'ouverture du cône supérieur A B est orientée vers le poste central, l'ouverture du

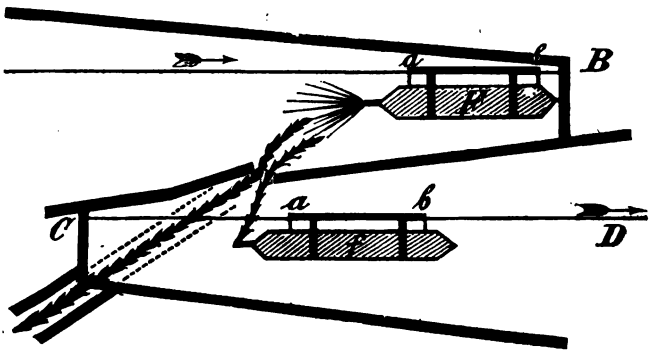


Fig. 66.— Cônes d'allumage.

ône inférieur C D vers le foyer suivant. Deux mèches n fulmicoton font saillie dans le cône AB. L'une d'elles lescend par un tube latéral, pour provoquer l'allumage u foyer, l'autre se relie à la fusée *f* disposée sur le fil le fer intérieur du cône C D.

La fusée F, lancée par le poste central, vient buter ontre le fond du cône AB; elle achève de s'y décharger t enflamme les deux mèches. La fusée *f* part aussitôt t va provoquer l'inflammation d'une fusée et d'un econd foyer dans le double cône d'allumage disposé à 0 mètres en avant. L'inflammation se communique insi de foyer en foyer avec une extrême rapidité. En oins d'une seconde, la fusée accomplit son trajet de) mètres et provoque l'allumage de la fusée suivante.

En moins de 1 minute, les foyers nécessaires à la protection de plusieurs hectares peuvent être allumés.

Quand l'une des fusées allumées, au lieu de poursuivre sa course dans la direction suivie par la fusée précédente, doit être dirigée à 90°, ainsi que le cas se produit à chaque angle du vignoble, le double cône d'allumage présente une disposition particulière indiquée dans la fig. 67. Le cône de départ est orienté à 90° du cône

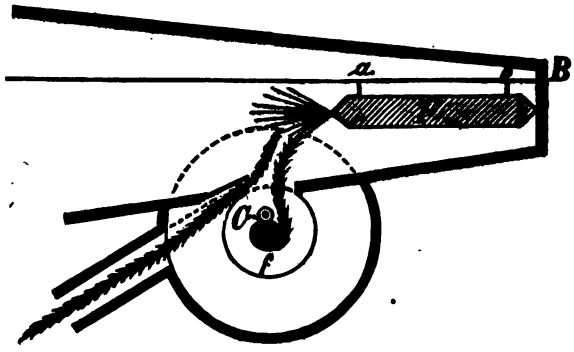


Fig. 67.— Cônes d'allumage pour changement de direction.

d'arrivée ; la disposition des mèches reste la même et l'inflammation de la fusée *f* à l'arrivée de la fusée F a lieu de la même manière que dans les doubles cônes parallèles.

Les foyers employés par M. Héguilus sont des foyers tronc-coniques à sommet arrondi ; ils paraissent constitués par des matières végétales imprégnées de substances résineuses et goudronneuses ; ils sont munis de trois pieds en bois élevant le foyer à 0 m. 20 au-dessus du sol. Leur transport est assez commode, leur allumage

ès facile et leur combustion régulière. Un tube de laiton e 0 m. 015 de diamètre environ s'emmanche dans le ıbe M du cône d'allumage (fig. 68) et descend au-des-

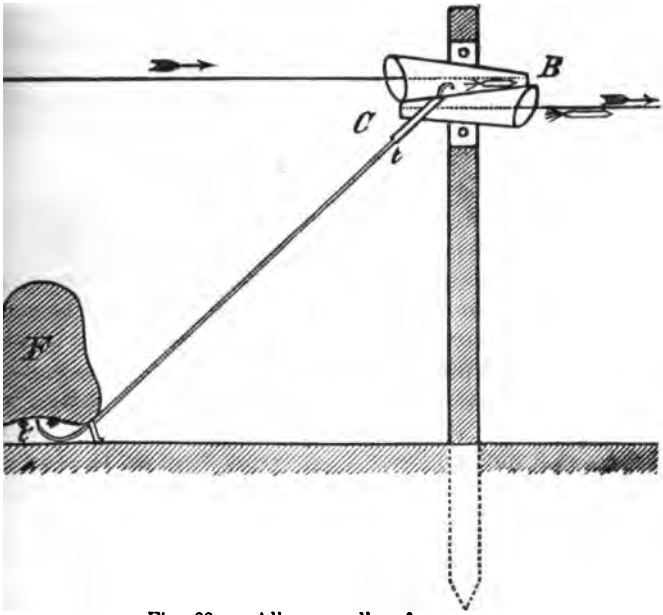


Fig. 68.— Allumage d'un foyer

ıs du foyer. Il protège une mèche de fulmicoton qui, rtant du cône d'allumage, vient s'agrafer au-dessous foyer et est ainsi entièrement abritée contre la ıie.

Telle est la description des principales dispositions procédé Héguilus qui a fonctionné avec une régula- parfaitement satisfaisante dans un essai qui a été fait Ecole d'agriculture. Une seule fusée n'a pas provo-

qué l'allumage de la fusée du double cône suivant, par suite d'un rebondissement accidentel sur le fond du cône d'arrivée ; mais il est facile de prévenir cet accident en disposant au fond du cône un cran d'arrêt pour prévenir le retour en arrière de la fusée. Nous ne signalons du reste cet incident que pour montrer une fois de plus qu'il faut toujours compter, dans la pratique, avec un insuccès possible et qu'aucun système d'allumeur automatique ne saurait donner au propriétaire une sécurité absolue.

L'installation d'une sonnerie électrique avertissant le vigneron de l'instant de l'allumage et restant en fonction après le déclanchement provoqué par le thermomètre paraît assurer au système Héguilus une complète sécurité. Il nous semblerait préférable toutefois que la sonnerie électrique ne fût pas disposée en série dans le circuit du thermomètre, mais mise en dérivation sur celui-ci. Le contact en platine qui assure le passage du courant du trembleur à l'électro-aimant de la sonnerie est, en effet, sujet à s'encrasser et peut accidentellement offrir une résistance assez grande au passage du courant pour empêcher le déclanchement de la tige M par l'électro-aimant EE (fig. 65).

Enfin, nous ferons remarquer que M. Héguilus a pris toutes les précautions désirables pour que les mèches d'allumage résistent aux intempéries. Les fusées au repos sont disposées au fond des cônes et la section oblique de l'ouverture de ceux-ci prévient assez bien l'introduction de la pluie.

Nous terminerons en signalant une objection faite par quelques personnes présentes aux expériences et portant sur l'encombrement provoqué par les fils de fer. Il est évident que la présence d'un fil de fer tendu

long d'un vignoble peut être gênant pour la circula-
on des ouvriers et des attelages. Mais on peut remar-
ier que cet obstacle ne subsiste guère que pendant
ux mois ; les fils de fer peuvent être enlevés ou roulés
r chaque poteau, après l'expiration de la période des
lées de printemps. Et puis, il ne faut pas demander
mpossible, et vouloir allumer une série de foyers sans
elque chose de matériel qui les relie l'un à l'autre,
elle, mèche ou fil de fer, c'est peut-être se poser un
oblème qui n'a pas de solution.

Une autre objection plus sérieuse est celle qui re-
oche à l'allumeur automatique de ne pas se préoccu-
r de la direction du vent et d'allumer indistinctement
us les foyers, alors qu'une seule ligne aurait suffi à la
otection du vignoble. C'est encore de ne pas se pré-
cuper de l'heure à laquelle le thermomètre descend à
ro et d'exposer les foyers à une combustion complète
ant le lever du soleil.

Pour répondre à cette deuxième objection, il n'y a
'à disposer un peu différemment le système de
. Héguilus. Le thermomètre à alcool de l'avertisseur
rait seul installé dans le vignoble et relié à l'habita-
n du propriétaire par un circuit aboutissant à la boîte
poste central, où seraient installés : 1° la sonnerie
se en dérivation dans le circuit ; 2° l'électro-aimant
' provoquant, par un dispositif annexe, l'explosion
ne amorce ; 3° une mèche de fulmicoton reliée à
morce et allumant un pétard de telle dimension que
dormeur le plus complaisant ait certainement son
mmeil interrompu quelle que fût l'heure où le ther-
mètre accuserait un abaissement de température
ns le voisinage de zéro.

L'allumage des foyers se ferait, dans cette combinai-

son, soit à main d'homme, soit à l'aide du dispositif
tomatique des fusées combiné de manière à permet
un allumage indépendant pour chacune des quatre r
gées de foyers entourant le vignoble.

M. Héguilus a du reste apporté tout récemment u
série d'heureuses modifications à plusieurs organes
son allumeur automatique. Une pile sèche a été sub
tuée à la pile à liquide du poste central; la mèche d'a
mage, au lieu de se diriger latéralement, monte verti
lement vers le premier cône d'allumage placé direc
ment au-dessus, et l'inflammation de la première fus
gagne en sécurité.

L'inflammation de chaque foyer n'est plus déterm
née par la combustion d'une mèche de fulmicoton, ma
par une fusée auxiliaire qui, allumée dans le cône d'all
mage, descend chassée par son recul et guidée par u
tube en fer au-dessous du foyer. Elle achève de s
vider et détermine son inflammation.

Enfin, une canalisation spéciale par fusées va déclan
cher, au moment de l'allumage, le mouvement d'horl
gerie d'un réveille-matin installé à la fenêtre de l'hab
tation du vigneron et lui permet de vérifier le bo
fonctionnement de l'appareil.

Les divers procédés qui permettent l'allumage de
foyers producteurs des nuages artificiels sont ass
nombreux, comme on vient de le voir. Nous ne croyo
pas, toutefois, avoir insisté trop longtemps sur les dé
tails d'application de ces procédés. Ce n'est pas si sou
vent que l'agriculteur peut lutter utilement cont
l'inexorable volonté des forces naturelles et modifier
son gré le jeu des éléments météorologiques.

Est-ce à dire que les nuages artificiels soient un pré
servatif infaillible contre les gelées de printemps

lous ne saurions l'affirmer. Des échecs nous ont été ignalés par plusieurs viticulteurs ; quelques-uns euvent provenir d'une application défectueuse du proédé, mais d'autres paraissent se lier à une impossibité matérielle de l'efficacité du remède. Un médicament e vaut que pour la maladie sur laquelle il peut agir. 'armi les gelées de printemps, il en est (mais c'est eureusement l'exception) qui ne sont pas uniquement éterminées par le rayonnement nocturne, mais qui roviennent de l'irruption subite d'un courant d'air oid emprunté à des régions éloignées. Dans ces conitions, le thermomètre continue à descendre après allumage des foyers et le minimum de température eut se produire bien après le lever du soleil. L'efficaité des nuages artificiels se réduit alors à empêcher le échauffement trop brusque du végétal gelé ; les umées protectrices devraient, dans ce cas, être prongées pendant deux à trois heures après le lever du oleil.

Quand bien même les nuages artificiels ne seraient u'une première indication montrant comment l'agriulteur peut intervenir pour modifier les conditions qui ui sont faites par le soleil, il serait utile d'en avoir iniqué les diverses tentatives de réalisation. Mais il y a lus que cela, et s'il est vrai que les viticulteurs hésitent ncore à généraliser un moyen de défense qui se traduit ujours par un vide relatif imposé à la bourse du proriétaire, la dépense est soldée, dans bien des cas, par n bénéfice assez apparent pour que l'on puisse affirmer ue, dès aujourd'hui, la défense des vignobles par les uages artificiels est entrée définitivement dans le doaine de la pratique agricole.

Protection contre les gelées par l'irrigation.— On utilise depuis quelques années avec succès, dans le midi de la France, l'aménagement des eaux destinées à la submersion ou à l'irrigation des vignes pour lutter contre les gelées de printemps. Le procédé consiste essentiellement à laisser l'eau séjourner sur le sol pendant la période critique de mars et avril. Il n'est pas nécessaire du reste que l'eau recouvre complètement le sol, il suffit que ce dernier soit entièrement saturé d'humidité à la surface.

La protection, ainsi réalisée, est due à une double action : diminution du pouvoir émissif du sol, atténuation de la variation diurne de température.

Le pouvoir émissif d'une nappe d'eau liquide est notablement inférieur à celui du sol nu ; nous avons déjà signalé cette action en comparant la température des mers à celle des continents. Mais le succès de la pratique des irrigations n'est pas dû uniquement à cette cause, puisque l'expérience prouve que la protection est encore efficace en l'absence d'une nappe liquide continue.

L'action prépondérante paraît due à l'influence exercée par la valeur élevée de la *chaleur spécifique* de l'eau. Le sol s'échauffe moins pendant le jour, mais se refroidit moins pendant la nuit, et, comme la température de l'air à la surface du sol est à peu près entièrement sous la dépendance de la température du sol, on comprend que les gelées soient constamment évitées, pourvu que le rayonnement nocturne ne dépasse pas certaines limites.

L'intensité du rayonnement nocturne est du reste souvent atténuée, sur les vignobles soumis à la submer-

ion et établis dans une plaine ou une vallée, par la formation d'une légère brume à la surface du sol qui s'oppose à l'émission des radiations obscures.

Enfin, on peut encore invoquer l'action d'un phénomène qui peut prévenir un abaissement de température e l'air jusqu'à zéro, quelle que soit du reste l'intensité u rayonnement nocturne. Il s'agit de l'intervention de ı *chaleur de condensation* de la vapeur d'eau. Chaque ilogramme de vapeur d'eau, en passant de l'état gazeux l'état liquide dans le voisinage de la température 0°, ıet en liberté environ 600 calories. Or l'air qui staonne sur un sol saturé d'humidité est abondamment ourvu de vapeur d'eau; il arrive en général à l'état de aturation avant que sa température ait atteint 0°, et penant tout le temps où la condensation de sa vapeur se roduit, sa température reste à peu près stationnaire arce qu'il gagne en chaleur de condensation ce qu'il erd par voie de rayonnement. Nous avons du reste éjà signalé ce fait en indiquant le principe de la prévion des gelées par la méthode de M. Mohn. La protecon du vignoble est donc assurée si l'air, au moment u lever du soleil, renferme encore un excès de vapeur ur la quantité nécessaire pour le saturer à 0°.

Le procédé de protection par l'irrigation paraît être un des plus efficaces que l'on puisse proposer aux griculteurs; il est à regretter que le relief du sol et la istribution des cours d'eau ne permettent pas de le géraliser.

Châssis et serres.— Les horticulteurs utilisent sur ne large échelle les propriétés thermiques du verre à itre pour retenir à la surface du sol les radiations du oleil. Le verre possède, en effet, une propriété toute

particulière ; il est assez transparent pour la chaleur lumineuse et presque complètement opaque pour la chaleur obscure. C'est ce que montrent les résultats suivants obtenus par Melloni.

Chaleur transmise sur 100 unités d'intensité

	Lampe de Locatelli	Platine incandescent	Cuivre à 400°	Cuivre à 100°
Sel gemme . .	92	92	92	92
Verre	39	24	6	0

Ainsi, tandis que le sel gemme transmet presque en totalité la chaleur, quelle que soit la température de la source qui l'émet, le verre ne laisse rien passer de la chaleur émise à 100° et à plus forte raison de la chaleur obscure rayonnée à des températures inférieures en général à 50°.

Supposons une lame de verre exposée au soleil et limitant une caisse à parois intérieures douées d'un pouvoir absorbant considérable et d'une faible conductibilité pour la chaleur. Les rayons calorifiques lumineux vont traverser aisément la paroi de verre et, absorbés par les parois intérieures noircies de la caisse, ils vont être transformés en rayons calorifiques obscurs. Comme, d'autre part, ces derniers ne peuvent traverser le verre qui transmet mal, ni les parois qui conduisent mal, il y aura accumulation de chaleur à l'intérieur de la caisse.

« C'est un fait connu, écrivait de Saussure (1) à la fin du siècle dernier, et sans doute depuis longtemps,

(1) Mouchot. — *La chaleur solaire et ses applications.*

qu'une chambre, un carrosse, une couche sont plus fortement réchauffés par le soleil lorsque ses rayons passent au travers de verres ou de châssis fermés que quand ces mêmes rayons entrent dans les mêmes lieux ouverts et dénués de vitrages ; on sait même que la chaleur est plus grande dans les chambres dont les fenêtres ont un double châssis. »

C'est d'après ses observations que de Saussure, sans connaître le mécanisme intime de l'emmagasinement de la chaleur par les parois de verre, fit construire son *héliothermomètre :* «Je fis donc faire, écrit-il, une caisse de sapin d'un pied de longueur sur neuf pouces de largeur et de profondeur, hors-d'œuvre. Cette caisse, d'un demi-pouce d'épaisseur, était doublée intérieurement d'un liège noir épais d'un pouce. J'avais choisi cette écorce comme une matière légère et en même temps très coerçante ou très peu perméable à la chaleur. Trois glaces entrant à coulisse dans l'épaisseur du liège et placées à un pouce et demi de distance l'une de l'autre fermaient cette boîte de manière que les rayons du soleil ne pouvaient parvenir au fond de la boîte qu'après avoir traversé les trois glaces».

De Saussure, après une matinée complète d'exposition au soleil, observa une élévation de température de 87°,7 Réaumur, soit de 109°,6 centigrades. Avec un isolement plus parfait de la caisse, le thermomètre put s'élever jusqu'à 160° centigrades.

Les divers procédés utilisés par les agriculteurs pour réchauffer, à l'aide de vitrages, l'air ou le sol où ils veulent activer le développement de certaines plantes ou favoriser la conservation des plantes exotiques sensibles aux abaissements de température, reposent, on le voit,

essentiellement sur l'application du principe de la construction de l'héliothermomètre de de Saussure.

Cloches de verre. — Les *cloches de verre* ou *verrines* sont tantôt d'une seule pièce, tantôt formées par plusieurs lames de verre assemblées à l'aide de feuillures de fer ou de zinc. Ces dernières sont plus légères, mais plus coûteuses et plus fragiles. On peut encore employer des cloches économiques en papier huilé ou en calicot gommé, mais les propriétés thermiques de ces diverses enveloppes sont loin d'être aussi avantageuses que celles du verre. Elles tamisent, en général, trop fortement la lumière et conviennent plutôt pour abriter les plantes délicates du rayonnement nocturne que pour favoriser l'accumulation de la chaleur pendant le jour ; de plus, elles se détruisent rapidement sous l'action des intempéries et de la pluie en particulier.

Châssis. — Les coffres des châssis consistent en une sorte de caisse formée de quatre planches. La planche de derrière est plus élevée que la planche de devant. Sur cette caisse s'adapte le châssis vitré destiné à l'emmagasinement de la chaleur. Les parois du coffre sont assez souvent construites en briques et en maçonnerie ; mais le bois serait préférable, parce que sa conductibilité est plus faible que celle de la brique humide, s'il n'était voué dans le sol à une destruction plus ou moins rapide. On a proposé aussi des parois en fer pour la construction de couches temporaires ; mais l'effet obtenu laisse à désirer, la conductibilité du métal est trop grande et le sol se refroidit plus rapidement. On pourrait obtenir des parois mauvaises conductrices et durables en employant le procédé suivant. Les murs de bri-

ques qui limitent la couche sont formés de deux murs parallèles, laissant un intervalle de $0^m,10$ que l'on remplira de copeaux de bois afin d'emprisonner une nappe d'air qui forme le meilleur des isolants, à la seule condition de l'immobiliser par une espèce de feutrage. On pourrait substituer aux copeaux des balles de blé si l'on ne craignait que, dans un sol humide, elles ne finissent par absorber assez d'humidité pour devenir conductrices.

Les châssis vitrés qui recouvrent la couche peuvent être en fer ou en bois ; ceux en bois sont moins coûteux, ceux en fer plus durables. On peut du reste associer l'un et l'autre, faire la membrure principale en bois avec équerres de fer et refendre ce cadre par des feuillures en fer sur lesquelles s'adapteront les vitres. Il est essentiel, pour obtenir une bonne utilisation de la chaleur et assurer une température constante du sol, de veiller à ce que le châssis soit imperméable à l'air et à l'eau. Pour éviter les rentrées d'eau, les vitres doivent se recouvrir successivement; on leur donne quelquefois une forme arrondie à leur portion inférieure, afin que l'écoulement de l'eau de pluie se fasse par le milieu des rangées de vitres plutôt que le long des feuillures.

Lorsque les constructions que l'on vient de décrire prennent un caractère de stabilité plus définitive et peuvent même recevoir l'application des procédés de la culture géothermique par l'application d'un thermosiphon , on les désigne plus spécialement sous le nom de *bâches*.

La terre ou le terreau enfermé dans le coffre des châssis ou dans la bâche ainsi que le fumier servant au réchauffement du sol constituent la *couche*. Les couches

peuvent, par suite, être préparées indépendamment des *châssis ou des bâches*.

Le terme *châssis*, qui ne représente au sens restreint du mot que le panneau vitré des *coffres ou des bâches*, s'emploie aussi pour désigner l'ensemble de ces constructions.

Serres. — On désigne sous le nom de *serres* des bâtiments plus ou moins vastes, clos et vitrés, servant à protéger contre les intempéries du climat les plantes de latitude plus chaude que celle du pays où on les cultive.

L'emplacement d'une serre doit être tel que cette construction soit autant que possible abritée des vents froids du Nord, du Nord-Est et du Nord-Ouest, et que l'on puisse l'aérer du côté du Midi, de l'Est ou de l'Ouest.

L'exposition d'une serre est déterminée par la direction que font avec le plan méridien les rayons tombant perpendiculairement sur le grand axe de la façade vitrée. Le choix de l'exposition est fixé par le genre de cultures que l'on désire y développer.

Les serres froides pour la culture des camélias, des azalées, etc., pourront être exposées au Nord sans inconvénient. Les grands végétaux de l'Amérique équatoriale veulent l'exposition Sud; les orchidées craignent une lumière trop vive et demandent l'exposition Sud-Est ou Sud-Ouest. Les serres à multiplication veulent l'exposition Nord; les jeunes boutures craignent les rayons directs du soleil.

L'inclinaison du vitrage présente une certaine importance au point de vue de l'utilisation de la radiation solaire. L'inclinaison la plus profitable est celle qui rece-

vrait, en moyenne, les rayons du soleil normalement au vitrage. Or, dans le cours de l'année, l'inclinaison des rayons solaires sur l'horizon varie de 46° environ, le soleil étant à 6 mois d'intervalle à 23° au-dessus (solstice d'été) et à 23° au-dessous (solstice d'hiver) du plan de l'équateur. L'inclinaison des vitrages, lorsque la serre ne présente qu'une seule pente, devrait donc être normale au plan de l'équateur et devrait, pour cela, faire avec l'horizontale un angle égal à la latitude du lieu. Mais si l'on remarque, toutefois, que pour les serres tempérées il faut surtout chercher à obtenir le maximum de l'utilisation des rayons incidents au moment du minimum de température, l'inclinaison du vitrage devrait être augmentée de 23°. Une inclinaison de 65° à 70° paraît donc fournir à la latitude de 45° les plus grands avantages comme utilisation maxima de la chaleur solaire au moment où celle de l'air fait le plus défaut.

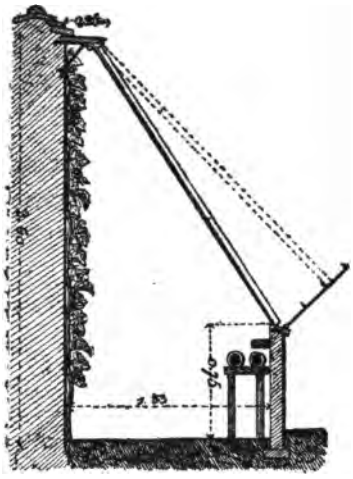


Fig. 69. — Serre volante à un seul versant, à grande pente.

On substitue en général, pour des motifs d'esthétique, à la pente unique du vitrage, une forme cintrée qui en même temps augmente l'espace intérieur utilisable et se prête mieux aux déformations périodiques impri-

mées à la charpente métallique par les variations de température annuelles. Les serres planes ou curvilignes peuvent être à un ou à deux versants. Les serres à un seul versant, ne permettant qu'un éclairement unilatéral des plantes, déterminent leur développement prépondérant dans la direction du vitrage ; il est nécessaire de changer de temps en temps l'orientation des plantes que l'on y cultive.

Le vitrage des serres comme celui des châssis, bien qu'à peu près imperméable à la déperdition de la chaleur obscure par voie de *rayonnement*, laisse toutefois

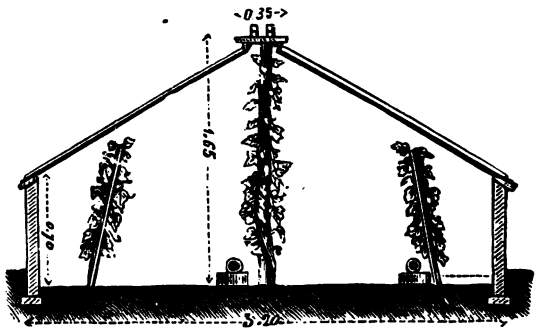


Fig. 70.— Serre hollandaise à double versant, à faible pente.

celle-ci se dissiper à la longue par *conductibilité*. Cette perte de chaleur par conductibilité serait faible toutefois si la surface extérieure du verre était douée, comme la plupart des corps polis, d'un pouvoir émissif très peu considérable. Mais le verre, malgré sa surface unie, présente au contraire un pouvoir émissif très élevé pour les radiations calorifiques obscures. On en jugera par la comparaison des chiffres suivants obtenus par Leslie.

Pouvoir émissif

Noir de fumée . .	100	Plomb brillant	19
Verre	90	Fer poli	15
Encre de Chine . .	88	Etain, argent, cuivre, or.	12

Le verre se range donc à côté du noir de fumée et diffère complètement des métaux polis. C'est à cette particularité, qui préside au refroidissement nocturne, que les objets de verre exposés en plein air pendant une nuit sereine doivent de se recouvrir d'un abondant dépôt de rosée.

La chaleur qui travese les minces lames de verre du vitrage par conductibilité est donc aussitôt dissipée par rayonnement dans l'atmosphère, grâce au pouvoir émissif élevé du verre. C'est afin de prévenir un refroidissement trop rapide des serres pendant les nuits d'hiver et du printemps que l'on a recours aux artifices suivants : on retient la chaleur plus énergiquement dans une serre en employant un double vitrage ; les deux vitres superposées enferment entre elles une mince couche d'air, mauvaise conductrice, qui s'oppose à la perte de chaleur réalisée par le vitrage supérieur. Cette disposition a été adoptée par M. Rivière pour la partie supérieure des serres du Luxembourg. Cette portion est en effet plus exposée que les parties latérales aux effets du rayonnement nocturne et en même temps la plus rapprochée du feuillage des plantes.

On emploie, dans le même but, des paillassons que l'on déroule, pendant la nuit, sur le vitrage des serres et que l'on peut y laisser pendant les journées les plus froides de l'hiver.

Les paillassons réalisent un abri très efficace contre

le rayonnement, mais s'opposent à l'absorption des rayons solaires par l'atmosphère intérieure de la serre. Ils sont toutefois très employés à cause de leur prix de revient très peu élevé, tandis que les doubles vitrages sont d'une construction assez coûteuse.

On distingue en général les serres en : serres *froides*, serres *tempérées* et serres *chaudes*, d'après les conditions de température que l'on cherche à réaliser pour la culture des plantes qu'elles abritent.

Les *serres froides*, employées plus spécialement en Russie, servent à la culture des plantes qui, bien que supportant des températures inférieures de plusieurs degrés à zéro, succombent néanmoins aux froids excessifs. Le châtaignier est, en Russie, un arbre de serre froide. On n'y a recours au chauffage que lorsque la température descend au-dessous de —10°. En France, on nomme serres froides celles où la température peut descendre sans inconvénients jusque vers 0°.

Les *serres tempérées* sont les plus répandues en France ; elles doivent, d'après le *Bon jardinier*, présenter, au point de vue du soleil, les principales dispositions suivantes.

1° Donner le plus de lumière possible aux plantes.

2° Être d'autant plus enterrées dans le sol qu'elles devront être plus échauffées.

3° Posséder un appareil de chauffage assez puissant pour combattre les effets dangereux des froids rigoureux et prolongés.

4° Être munies des accessoires nécessaires à la pose et à l'enlèvement facile des appareils de couverture que l'insuffisance du chauffage pourrait rendre indispensables.

Le système du double vitrage s'appliquera de préfé-

rence aux serres tempérées. La température ne doit pas en général s'abaisser au-dessous de 6°.

Serres chaudes. — Les serres chaudes diffèrent des serres tempérées par la température élevée qu'on doit y entretenir constamment. Ces serres conviennent à la culture des plantes tropicales, orchidées des pays chauds, palmiers, ananas. Il est en général utile, pour assurer aux racines des conditions de végétation aussi favorables que celles de la partie aérienne, d'opérer le chauffage du sol, aussi bien que celui de l'air, à l'aide de thermosiphons. La température en hiver ne doit pas s'abaisser au-dessous de + 15°.

RESTITUTION DE LA CHALEUR SOLAIRE PAR LES VÉGÉTAUX ET PAR LES ANIMAUX

Le rayonnement terrestre ou cheminement des rayons de chaleur obscure au travers de l'atmosphère est la forme la plus générale de la déperdition de l'énergie solaire par le sol, mais ce n'est pas la seule. Elle est considérablement aidée par le concours de divers phénomènes qui mettent en liberté la chaleur emprisonnée à la surface du sol ou la transportent dans les régions élevées de l'atmosphère, en abrégeant la route que le rayonnement aura encore à lui faire parcourir pour la verser définitivement dans la circulation générale des espaces célestes.

Restitution de la chaleur solaire par les végétaux. — Nous avons vu, en particulier, que les végétaux savaient

fixer dans leurs tissus une quantité importante de chaleur, sous forme de chaleur latente de combinaison. La chaleur utilisée par le végétal pour assimiler le carbone reste intimement fixée à ses tissus et ne réapparaît que lors de la destruction de l'édifice chimique dont elle a permis la construction. Cette restitution de la chaleur solaire peut s'effectuer à très longue échéance; et combien sont nombreux les rayons de soleil qui dorment encore au fond de nos houillères depuis des milliers et des milliers d'années! Tôt ou tard, cependant, cette houille brûlera dans un foyer et la chaleur du soleil ainsi accumulée renaîtra un jour pour disparaître, le lendemain, rayonnée vers les espaces célestes.

L'exubérante végétation des âges géologiques et les mouvements considérables de l'écorce terrestre qui se sont produits à cette époque ont donc pu enfouir pendant de longues années la chaleur du soleil dans les entrailles du sol ; mais, de nos jours, de pareilles réserves ne prennent guère naissance. La formation lente des tourbières, l'accroissement de la teneur en humus du sol de nos forêts, sont les seuls survivants de ces procédés économiques du sol développés pendant la période de la formation de la houille. Les rayons du soleil emprisonnés dans nos plantes cultivées ne restent que peu d'années à la surface du sol. Les matières organiques végétales ne tardent pas à être oxydées; des combinaisons plus simples se réalisent à leurs dépens ; l'acide carbonique réapparaît et pendant sa formation, soit qu'il résulte d'une oxydation chimique soit du travail d'un ferment, il met en liberté la chaleur qu'il avait empruntée pendant sa décomposition.

Les plantes émettent en outre, pendant toute la durée de leur croissance, une certaine quantité de chaleur. Des

tiges de pois réunies en grand nombre autour du réservoir d'un thermomètre ont donné une élévation de température de plusieurs degrés. Cette émission constante de chaleur correspond à diverses combinaisons qui, en se réalisant dans les tissus du végétal, donnent naissance à un dégagement de chaleur. Mais comme ces actions sont très lentes en général, les tissus de la plante qui échangent constamment leur chaleur avec celle de l'air se maintiennent à une température très voisine de celle du milieu où ils sont plongés. Toutefois, comme l'activité vitale et l'énergie des oxydations deviennent particulièrement intenses à certaines période de la vie de la plante, il en résulte quelquefois des élévations très sensibles de sa température. L'émission de chaleur atteint son maximum pendant la germination et pendant la floraison. En faisant germer des grains de blé, on a obtenu des élévations de température de 10 à 12 degrés, et avec des graines de navet l'excès de température a atteint 20°. Les agriculteurs savent du reste combien les tas de blés sont sujets à s'échauffer lorsqu'ils sont conservés dans un local un peu humide ; il se produit dans ces conditions une première tentative de germination accompagnée d'un dégagement de chaleur parfaitement sensible à la main. L'aération du local et des semences suffit en général pour arrêter en temps utile les conséquences déplorables de ce phénomène.

La floraison des plantes dégage aussi de la chaleur mais l'élévation de température passe en général inaperçue, parce que la fleur présente une très grande surface au refroidissement. Mais avec des fleurs condensées en inflorescence compactes ou protégées contre le rayonnement par une enveloppe accessoire, le phénomène est parfaitement appréciable.

L'élévation de température peut atteindre jusqu'à 10°5 à l'intérieur du spathe d'une fleur d'arum. Le dégagement de chaleur paraît au moment de la floraison comme du reste pendant la germination en relation assez directe avec la quantité d'oxygène absorbé. La production de chaleur cesse à peu près complètement quand on transporte la fleur d'arum dans une atmosphère inerte d'azote ou d'acide carbonique.

Restitution de la chaleur solaire par l'organisme animal. — La mise en liberté de la chaleur solaire peut du reste être beaucoup plus rapide lorsque les animaux veulent bien donner leur concours à cette restitution.

L'oxydation ou la combustion des aliments introduits dans l'organisme animal est la source essentielle de la chaleur animale. Non pas que l'on veuille dire par là qu'il y ait une oxydation directe avec dégagement de chaleur des substances alimentaires végétales ingérées, mais les éléments de ces substances contractent dans l'organisme de nouvelles combinaisons ; elles deviennent graisse, albumine ; elles forment le sang et les muscles et, dans l'intérieur et aux dépens de ces divers tissus, se réalisent ultérieurement des combustions dont les termes résultants essentiels sont la vapeur d'eau, l'acide carbonique, l'urée, tous composés qui en se réalisant mettent en liberté de la chaleur.

Il est facile de voir, en suivant pas à pas les transformations de l'acide carbonique dans les tissus de la plante en cellulose ou en fécule, puis en graisse ou en albumine dans les organes de l'animal pour aboutir de nouveau à la régénération de l'acide carbonique pendant la respiration, que la molécule de carbone a décrit

un itinéraire fermé empruntant de la chaleur à son départ et la restituant à son arrivée.

Le tableau suivant donne les quantités de chaleur dégagées par la combustion des divers éléments que l'organisme animal peut emprunter au règne végétal. Ces quantités sont données en *calories kilogramme-degré* pour 1 gramme de ces diverses substances soumises à une combustion complète dans l'organisme.

Substances	Calories	Substances	Calories
Hydrogène	34,62	Graisse	9,09
Carbone	8,08	Amidon	4,48
Urée	2,54	Glucose	3,94
Acide urique	2,61	Lait de vache	5,73
Alcool	6,98	Jaune d'œuf	4,48
Acide acétique	3,32	Pommes de terre	4,23
Extrait de viande	3,22	Pain	4,35
Albumine	5,75	Riz	4,81
Peptone	4,88	Lentilles	4,89
Muscle	5,72	Maïs	5,19
Gluten	6,14		

On peut voir que les graisses dégagent plus de chaleur que les matières végétales hydrocarbonées comme le pain et les pommes de terre ; mais, en revanche, elles demandent une consommation plus grande d'oxygène pour produire la même quantité de chaleur. Les matières azotées, telles que la viande, produisent moins de chaleur que les précédentes, parce qu'elles sont toujours imparfaitement brûlées dans l'organisme qui les rejette après une combustion incomplète sous forme d'urée et d'acide urique.

En pratique, on sait qu'il vaut mieux manger des féculents et des matières grasses que de la viande pour réchauffer l'organisme. Dans les régions polaires, les

esquimaux font une consommation importante d'huile et de graisse de phoques. En réalité, cependant, l'organisme animal utilise sur place les combinaisons alimentaires qui lui fournissent, sous la forme la moins onéreuse, la chaleur du soleil pour subvenir à la dépense continue de la chaleur animale. Bien que vivant dans un climat assez chaud, les Kabyles consomment beaucoup d'huile d'olive qui, associée au pain, sert de base à leur nourriture.

Il n'y a pas du reste de relation directe entre la quantité de chaleur cédée par un aliment et la quantité de travail que l'organisme animal peut produire. Nous avons vu, en effet, que pour une quantité déterminée de travail produit, il se développait simultanément une quantité 4 à 5 fois plus grande de chaleur inutilisable et le rendement des diverses substances alimentaires en travail peut être essentiellement différent.

On conçoit, toutefois, combien il serait important, pour l'agriculteur, de connaître la composition des rations alimentaires qui permettraient de tirer d'un animal la plus grande quantité de travail avec le moins de dépense et d'utiliser le plus économiquement possible la chaleur du soleil emmagasinée dans ses récoltes.

Les physiologistes ont tenté diverses expériences dans ce but. M. Richet a fait construitre un calorimètre qui permet d'évaluer la chaleur dégagée par un lapin. Il consiste essentiellement en une enveloppe constituée par un tube métallique roulé en spirale et constituant le réservoir d'un thermomètre à air très sensible. La connaissance de la température de l'enveloppe permet, moyennant quelques expériences préalables, de déterminer la quantité de chaleur cédée par l'animal enfermé à l'intérieur. (Voir fig. 72).

M. d'Arsonval a opéré sur l'homme à l'aide d'un calorimètre assez semblable, mais de grande dimension.

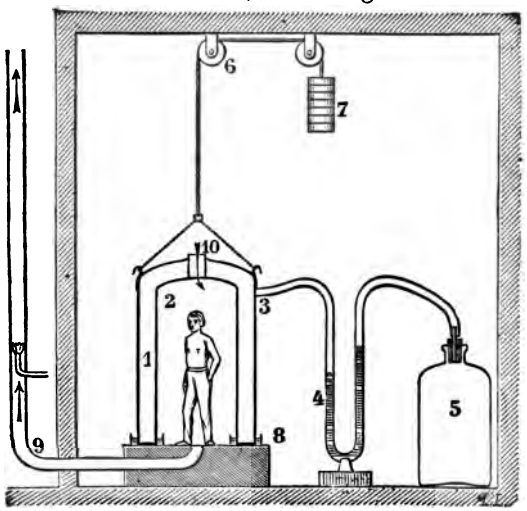


Fig. 71.— Calorimètre pour homme.

Le sujet de l'expérience respire librement sous une grande cloche cylindrique dont les doubles parois forment une capacité close qui représente le réservoir d'un immense thermomètre indiquant la quantité de chaleur rayonnée par l'organisme. La quantité de chaleur produite en 24 heures par le corps humain peut être évaluée à peu près à 2700 calories, ce qui donne 1 cal. 87 par minute et 112 calories par heure, soit un peu moins de 2 calories par heure et par kilogramme de poids vif.

On peut remarquer que dix hommes de taille moyenne peuvent tenir sur un emplacement de un mètre carré.

Nous avons vu aussi que chaque centimètre carré du sol horizontal recevait annuellement environ 70,000

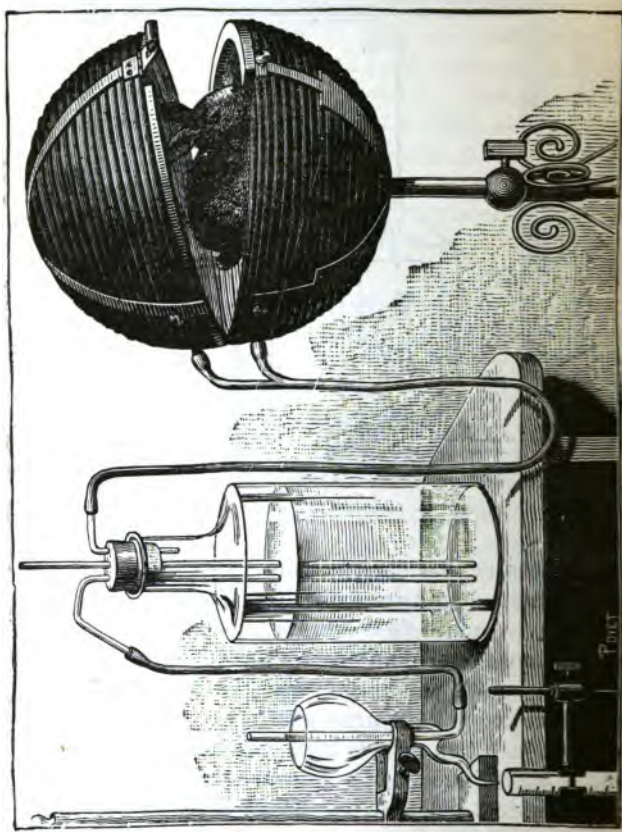


Fig. 72. — Calorimètre pour mesurer la chaleur dégagée par un animal.

petites calories, soit 70 grandes calories ou bien 700,000 calories par mètre carré. Ce gain annuel correspond

r jour à 2000 calories environ, et sur l'emplacement
ın homme il en tombe 200. Comme, en un jour, il en
nsomme 2700, on voit qu'il suffira d'un espace envi-
n 14 fois plus grand pour suffire à l'entretien de la
aleur qu'il consomme. Si nous savions, à l'aide de la
gétation, utiliser intégralement la chaleur du soleil, il
ffirait de 1 mètre carré et demi environ pour permet-
ɜ l'existence d'un homme. On voit par là que la den-
:é de la population en France étant de 72 habitants
ır kilomètre carré, chaque mètre carré du sol ne
ɔurrit que 0 homme, 000072. Là où un homme vit,
),000 pourraient vivre des rayons du soleil.

Le trajet accompli par un rayon de soleil, depuis le
ur où il entre dans la plante jusqu'à celui où il sort
ɜ l'animal, est donc assez complexe; mais il en sort iné-
tablement alors même que l'herbivore aurait été
ıangé par un premier carnivore dont l'homme aurait
ıit sa nourriture. L'itinéraire est plus ou moins long,
lus ou moins embrouillé, mais finalement il naît d'une
ıdiation chaude et lumineuse du soleil un rayon rela-
vement froid de chaleur obscure.

Si nous considérons de même les transformations d'un
ayon de soleil reçu sur le sol nu et s'échappant ensuite
ar rayonnement au travers de l'atmosphère, nous re-
ıarquons la même loi essentielle. A une vibration calo-
ifique rapide de haute température succède une on-
ulation plus froide et plus lente de chaleur obscure.
ıes physiciens traduisent cette loi en disant qu'il y a
légradation d'énergie.

Cette expression est assez vraie, car l'énergie à haute
empérature est seule pratiquement utilisable. Avec
ıne température de 1000 degrés et au-dessus, nous
ɔouvons seulement accomplir les réactions métallurgi-

ques de nos hauts-fourneaux; avec une température supérieure à 100°, nous animons nos moteurs à vapeur. Avec une température de 50°, la transformation est encore réalisable avec les moteurs à éther, mais plus délicate. Enfin les températures voisines et inférieures à 0° sont à peu près pratiquement inutilisables.

On peut tirer de l'observation des actions exercées par le soleil sur les plantes et sur les opérations de l'agriculteur la conclusion que l'utilité des radiations solaires décroît aussi quand leur température s'abaisse. Les rayons solaires s'en vont quand ils sont devenus à peu près inutilisables. Il appartient à l'agriculteur de les utiliser le mieux possible quand ils sont en état de l'être et d'augmenter cette utilisation en prolongeant leur séjour à la surface du sol.

Toute règle a cependant des exceptions et la dégradation de l'énergie solaire n'est pas toujours continue. Quelques végétaux et quelques animaux, de même que certaines substances inertes, possèdent la curieuse propriété de restaurer l'énergie et de produire de la lumière aux dépens de la chaleur obscure qui prend naissance dans leur organisme.

On sait que divers minéraux possèdent la propriété d'emmagasiner pendant le jour les rayons solaires et de répandre ensuite pendant la nuit une lueur phosphorescente. On sait aussi que certaines solutions, celle d'Esculine, par exemple, donnée par l'écorce du marronnier, possèdent la curieuse propriété de créer de la lumière en transformant des rayons invisibles. Si l'on fait tomber un spectre solaire (fig. 73) à la surface d'une cuve remplie de ce liquide, on constate que dans toute la région A H frappée par le spectre visible, et bien au

là, le liquide devient lumineux sous une certaine aisseur qui est maxima dans la région ultra-violette. composition de la lumière émise en un point du ectre diffère de la constitution de celle qui lui a donné issance. Avec l'esculine, un rayon plus réfrangible nne un rayon moins réfrangible ; un rayon de lumière ut devenir rayon obscur, c'est la loi la plus générale; ais quelques substances font exception, et le rouge de phtaline crée, d'après M. Lommel, des rayons plus frangibles aux dépens de rayons moins réfrangibles, la lumière aux dépens de la chaleur.

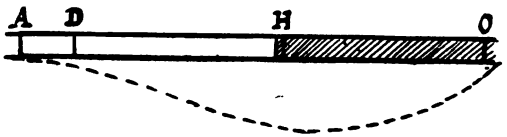


Fig. 73.— Transformation des radiations par fluorescence.

On peut supposer, dans l'organisme de certains champignons et animaux *phosphorescents*, l'existence d'une matière douée d'une propriété analogue à celle du rouge de naphtaline; l'organisme développerait de la chaleur par les combustions dont il est le siège et les tissus phosphorescents transformeraient ces radiations obscures en radiations lumineuses.

Parmi les champignons phosphorescents, on peut citer les cordons rameux désignés autrefois sous le nom de Rhizomorpha et qui constituent l'appareil végétatif de l'Agaricus melleus. Ce champignon est connu des agriculteurs, il est la cause à peu près constante du *pourridié* des arbres fruitiers, surtout des essences vertes et résineuses; il attaque aussi les châtaigniers et les marronniers.

La production de cette lumière est corrélative d'une vive absorption d'oxygène ; elle cesse dans l'azote, l'hydrogène et l'acide carbonique ; elle est maxima dans un mélange gazeux à 1/5 d'oxygène et décroît dans l'oxygène pur. Les filaments de ce mycélium ne s'illuminent que lorsque la température est voisine de 3 à 4° ; l'intensité maxima a lieu vers 8 à 10° et cesse vers 30°. Le phénomène s'arrête avec la vie de la plante.

Une bactérie, le *Bacillus phosphorescens*, détermine la phosphorescence de la viande de certains poissons et des animaux de boucherie. Le phénomène peut prendre naissance sur de la viande fraîche, s'y développer en lueurs blanches parfois un peu verdâtres, en traînées mobiles, irrégulières, analogues aux sillons lumineux d'une allumette phosphorée. La phosphorescence est contagieuse de proche en proche, peut persister plusieurs jours et disparaît avec la putréfaction de la viande ; les lueurs cessent vers 47°. C'est à la présence de bactéries phosphorescentes que l'on peut attribuer la phosphorescence de divers liquides de l'organisme, normaux ou pathologiques, tels que le lait, l'urine, la sueur, la salive. Le phénomène a été signalé sur l'homme par divers observateurs.

Parmi les animaux phosphorescents, les plus connus sont le lampyre ou *ver luisant* et le *taupin lumineux*. Le lampyre ou ver luisant femelle commence à être visible entre 7 et 8 heures du soir, dans les mois chauds de l'année et assez ordinairement au coucher du soleil ; la lumière est produite au moyen d'un appareil qui existe dans l'abdomen. On aperçoit, en effet, sur la surface intérieure des trois derniers anneaux, une matière jaune blanchâtre, demi-transparente, qui émet une vive

osphorescence. On a remarqué que la volonté de nimal règle en partie le phénomène. Le bruit et le ouvement suffisent pour le déterminer à affaiblir sa ulté lumineuse.

La production de la lumière par les lampyres a été bjet de nombreuses recherches. L'oxygène paraît néssaire, de même que chez les champignons, pour oduire la phosphorescence qui cesse dans les gaz ertes. Lorsqu'on chauffe progressivement un ver luint, son éclat augmente et atteint son maximum vers °. Le passage d'un courant électrique envoyé dans le rps de l'animal augmente sa phosphorescence en agisnt très probablement sur l'innervation de l'animal.

La famille des élatères ou taupins renferme pluieurs espèces du genre *pyrophore*, qui vivent dans les égions tropicales de l'Amérique et qui sont lumineuses. Une espèce mexicaine présente l'émission de mière en deux points au-dessus de la tête ainsi qu'auessous du thorax. Cet insecte est un de ceux où le phéomène de phosphorescence est le plus brillant. On prétend qu'au Mexique les dames s'en servent comme d'un bjet d'ornement; elles conservent ces insectes, les ourrissent et les placent dans leur parure.

Le nombre des animaux phosphorescents est très onsidérable. Le phénomène est surtout fréquent chez es animaux marins.

Le rayonnement de lumière par les animaux comme ar les végétaux phosphorescents est caractérisé par la aible intensité du rayonnement calorifique qui l'accompagne. C'est de la lumière obtenue à peu près sans dégagement de chaleur.

Cette particularité a attiré récemment l'attention d'un

physicien américain, M. Langley (1), auquel on doit de remarquables recherches sur la constitution des radiations du soleil. M. Langley, en collaboration avec M. Véry, a déterminé par des procédés d'une extrême délicatesse, la quantité de chaleur et de lumière émise par l'appareil phosphorescent du taupin lumineux. La comparaison des diagrammes dressés par les auteurs et montrant la répartition de l'énergie lumineuse et de l'énergie calorifique pour diverses sources de lumière et pour celle du taupin conduit à des résultats particulièrement intéressants.

On voit en particulier que, tandis que dans nos becs de gaz ou dans nos lumières électriques une bonne partie de l'énergie est dépensée en dehors du spectre lumineux, toute l'énergie du taupin est au contraire consommée à produire des radiations lumineuses.

En d'autres termes, nos procédés actuels de fabrication de la lumière gaspillent l'énergie et en retirent beaucoup de chaleur et peu de lumière. Le taupin lumineux, au contraire, avec une dose égale d'énergie, crée peu de chaleur et beaucoup de lumière. M. Langley conclut que si l'on connaissait le mécanisme intime de la production de la lumière chez ces insectes et si on pouvait le reproduire, on aurait trouvé la meilleure solution de l'éclairage à bon marché.

Cela prouve une fois de plus que le phénomène le plus humble mérite d'être attentivement observé et que d'une constatation scientifique, qui paraît tout d'abord de pure curiosité, peut naître un enseignement particulièrement utile pour la vie pratique de chaque jour.

---

(1) Hospitalier. — *In* journal *La Nature*, t. II, p. 261, année 1890.

MIGRATION FINALE DE LA CHALEUR SOLAIRE

Plusieurs causes interviennent pour faciliter le départ définitif de la chaleur obscure des assises superficielles du sol vers les espaces interplanétaires. Les deux actions essentielles sont exercées par l'agitation de l'air et la migration de la vapeur d'eau.

Dans le voisinage de l'équateur, surchauffé par l'exagération d'une radiation verticale, l'atmosphère se soulève lentement et ses couches supérieures se déversent à droite et à gauche vers les pôles sous forme d'un immense fleuve d'air chaud. Ce courant d'air des hautes régions retombe successivement jusqu'au sol, glisse à sa surface et fait retour à l'équateur. Il s'établit ainsi une double circulation incessante; un courant d'air froid inférieur s'approprie la chaleur du sol de nos régions tempérées et, s'élevant ensuite dans le voisinage de l'équateur, va les dissiper en partie par rayonnement dans les hautes régions de l'atmosphère.

Mais le transport le plus énergique de la chaleur vers les régions élevées de l'atmosphère paraît effectué par la vapeur d'eau. Il tombe annuellement dans la région méditerranéenne de la France environ 80 centimètres de pluie. On estime que, sur cette quantité, les 3/7 sont dissipés par le ruissellement et l'infiltration; les 4/7, soit $0^m,45$, seraient restitués sur place à l'atmosphère par voie d'évaporation. Or, d'autre part, la radiation solaire reçue à la surface du sol ne pourrait évaporer annuellement plus de $1^m,20$. On voit donc que plus du 1/3 de la chaleur du soleil est absorbé dans le phénomène de l'évaporation.

Pour vaporiser chaque kilogramme d'eau à la tempé rature de 15°, il faut, en effet, environ 600 calories, et 1 millimètre de pluie, pour être évaporé à la surface d sol de 1 hectare, n'exige pas moins de 6,000,000 de calo ries. Cette prodigieuse quantité de chaleur disparaî momentanément sous forme de travail de vaporisation ou de chaleur latente de vaporisation. La vapeur s'élève lentement dans les hautes régions de l'atmosphère; elle s'y condense en restituant intégralement la chaleur de vaporisation qu'elle avait empruntée à l'air et au sol; la pluie fait retour à la terre; les vapeurs s'étaient élevées chaudes, la pluie retombe froide et quelquefois glacée; la chaleur de condensation, mise en liberté dans les hau tes régions, a été partiellement rayonnée par les nuages vers les espaces célestes.

Un poète a montré les étapes principales du cycle fermé exécuté par la vapeur d'eau dans ses migrations.

L'onde, qui de la mer fuit en vapeur légère,
Se répand au sommet des monts,
Roule des coteaux aux vallons
Dans les fontaines, prisonnière,
Et dans les fleuves, passagère.
Jamais paisible au même lit,
Elle murmure, elle gémit,
Elle court agitée, et toujours en souffrance,
A la mer, à la mer qui lui donna naissance,
Où la nue a puisé ses pleurs,
Où l'attend du repos la trompeuse espérance
Après de si longues erreurs.

MÉTASTASE.
(Traduit de l'italien par Dupont de Nemours)

Mais ce que le poète a passé sous silence c'est l'autre cycle, celui de la chaleur, qui n'est que partiellement associé au précédent. La chaleur part du sol et ne fait retour qu'en partie. Au premier itinéraire qui accom

ıgne celui de la vapeur et lui est souvent à peu près ıralllèle, s'en joint un second qui, lui aussi, est un cirıit fermé sans doute, mais qui se développe bien loin e notre terre.

La chaleur qui s'échappe au delà des nuages marche ›ujours : où va-t-elle ? toujours plus loin, vers de nouelles terres peut-être, ou plutôt vers de nouveaux ›leils. Mais l'espace au travers duquel elle se dirige st si vaste que nous avons peu de chance de la voir un ›ur revenir. Le mieux est donc de l'empêcher de parr, et, comme nous savons qu'il nous est impossible de enchaîner complètement, nous devons du moins cherher à la faire servir le plus utilement à nos intérêts endant son court séjour à la surface de nos champs.

BIBLIOGRAPHIE

Tyndall. — La chaleur considérée comme cause de mouvement.
Millot. — Cours de météorologie professé à la Faculté des sciences de Nancy.
Ed. Roche. — Marche annuelle de la température à Montpellier. — Bulletin météorologique de l'Hérault, année 1881.
Boussingault. — Etudes agronomiques.
Portes et **Ruyssen.** — Traité de viticulture.
Beaunis. — Nouveaux éléments de physiologie humaine.
Van Tieghem. — Traité de botanique.
Le Bon Jardinier.— Gravures et texte supplémentaire.

APPENDICE

LA LUNE

ET

INFLUENCE SUR LES PHÉNOMÈNES TERRESTRES

est peut-être pas d'opinion plus généralement
, sinon toujours avouée, par la majorité des
teurs, que celle qui attribue à la lune une in-
réelle sur le succès de diverses opérations
es. Les semailles et les récoltes en particulier
t influencées directement par les lunaisons et, à
endre, la théorie des influences lunaires, quel-
ouleuse qu'elle soit, est plus facilement acceptée
plus belles découvertes des chimistes agrono-
notre siècle. On croit à la lune et on admet avec
l'efficacité des engrais minéraux.
xaminant avec attention les diverses opinions
s qui règnent à ce sujet, on reconnaît que parmi
ences attribuées à la lune, les unes sont réelles,
es sont vraies, mais ont reçu une fausse inter-
ı ; quelques-unes aussi ne paraissent justifiées
ne manière. On voit encore que parmi les
s réellement exercées par la lune, les unes se

rattachent à sa lumière qui provient du soleil, et qu parmi les interprétations qui demandent à être redre sées, la température ou la radiation intervient et se sub titue parfois complètement à l'action attribuée à la lun

Nous avons donc pensé qu'un appendice sur la *Lu et les influences lunaires* ne serait pas déplacé à la suit des documents que nous venons de rassembler sur le rapports du soleil et de l'agriculteur. Nous nous propo serons, dans le développement de ce dernier chapitre de rappeler les principales opinions qui ont cours ch les agriculteurs français au sujet des influences lunaires nous examinerons ensuite quels sont les mouvement réels et apparents de la lune autour de la terre ; quelle sont ses relations avec le soleil, et comment ces don nées, établies irréfutablement par l'astronomie, peuven permettre d'interpréter l'intervention de la lune dan le cours des opérations agricoles.

Le soleil et la lune sont deux astres bien inégaux comme importance, si l'on jugeait de la valeur des choses par leurs dimensions. Le soleil est un globe dont le diamètre est 108 fois plus grand que celui de la terre ; le diamètre de la lune n'est que les 3/11 de celui de la terre. Le diamètre du soleil est par suite 400 fois plus grand que celui de la lune, mais cet astre est situé 400 fois plus loin, de telle sorte que, la grandeur apparente des objets étant proportionnelle à leur grandeur et en raison inverse de leur distance, il en résulte une compensation assez rigoureuse. L'astre de la nuit, 400 fois plus petit mais 400 fois plus rapproché, nous apparaît avec la même grandeur que l'astre du jour.

Dans ces conditions, un mariage devenait inévitable ; la mythologie et la poésie le réalisèrent en unissant pour jamais Phébé et Phébus. Phébus eut l'empire du

Phébé celui de la nuit ; et comme l'existence des ıins se partage tout entière entre ces deux moitiés durée, la dot de l'un et de l'autre des contractants, ·sentée par la part des influences qu'ils devaient dans les destinées humaines, leur fut généreuse- octroyée en conséquence.

lumière incertaine que la lune jette dans les ténè- de la nuit, la vitalité qu'elle semble prêter aux ›s endormies de la nature qu'elle éclaire, étaient 'aites pour développer dans l'esprit des rêveurs la ıce en son mystérieux pouvoir.

Avec ces lumineux frissons,
Elle a de si douces façons
De se pencher sur les buissons
Et les clairières !
Son rayon blême et vaporeux
Tremblote au fond des chemins creux
Et rôde sur les flancs ocreux
Des fondrières ;
Elle argente sur les talus
Les vieux troncs d'arbre vermoulus
Et rend les saules chevelus
Si fantastiques
Qu'à ses rayons ensorcelleurs
Ils ont l'air de femmes en pleurs
Qui penchent au vent des douleurs
Leurs fronts mystiques.

M. ROLLINAT *(dans les Brandes)*.

re le dictionnaire d'*Épithètes poétiques* de M. de e, publié en 1580, afin de faciliter la recherche es aux poètes de l'époque, et je trouve à l'article série d'épithètes suivantes :

ɔ cornue, palle, argentée, vagabonde, latonienne, es mois, croissante et décroissante, belle, pleine, ante, claire, disciple du soleil, argentine, res-

»plendissante, brunette, déesse aux noirs chenaux »volage, *rosineuse ou rosoyante*, nuittale, bicorne »errante, variable, sœur de Phébus, ornement de l »nuit, *froide*, blanche, pure, double corne, *venteuse* »dame des ténèbres, secrète, radieuse, l'honneur d »silence.»

La liste assez longue de ces qualificatifs montre quelle place l'astre de la nuit tenait dans les conceptions des poètes du XVI^e^ siècle. Les épithètes en italique indiquent, en outre, assez clairement, la croyance établie dès cette époque touchant l'action de la lune sur la production de la rosée, le refroidissement nocturne et le vent.

L'auteur ajoute comme texte explicatif :

«La lune est ainsi dite pour la clarté qu'elle seule »donne à la nuit; sur toutes les planètes, elle est la »dernière et la plus familière à la terre; elle est fort »admirable en son cours, et celui qui le premier remar- »qua la diversité de ses mouvements fut Endymion, »lequel aussi on feint avoir été ravy de son amour.»

Depuis la découverte d'Endymion, découverte qui, au dire de M. de La Porte, n'aurait pas été dictée par une tournure d'esprit purement scientifique, les astronomes et les médecins s'efforcèrent d'utiliser les relations des dits mouvements avec ceux de l'humanité pour déduire les uns de la connaissance des autres. L'astrologie prit naissance, et la lune y tint un bon rang parmi les diverses planètes dont les mouvements furent consultés. On admit comme axiome que la lune exerçait une influence occulte mais réelle sur le genre humain. «Tandis »que les hommes, rapporte M. Flammarion, subissaient »principalement l'action du soleil, les femmes subis- »saient celle de la lune qui réglait une partie de leurs

:tions. Toutefois, les hommes qui naissaient le lundi
:poque de la pleine lune étaient prédestinés à un
.ctère mélancolique, taciturne, flegmatique. La con-
tion avec Vénus était très favorable et produisait
neilleurs effets ; mais avec Saturne elle était si fa-
qu'elle pouvait conduire à l'échafaud... On avait
ıgé le corps humain en sept parties, ayant chacune
:tre protecteur : le soleil gouvernait la tête ; la lune,
ı et le bras droit.... C'est par ces influences com-
:s que l'on expliquait les chances ou les périls de
: et même les maladies. M. Morin, médecin de
; XIII et du jeune Louis XIV, ne se dirigeait
: que d'après ces principes.» Il est à croire que ses
:s ne s'en portaient ni mieux ni plus mal.
: croyance à une action réelle de la lune sur les
humaines se reflète jusque dans les noms qui,
carte de l'astronome Riccioli, en 1651, servent à
:r les diverses contrées géographiques de la sur-
ıaire. Diverses régions y sont désignées sous
s de mers du sommeil, des songes, de la fécon-
s humeurs, des tempêtes, ou des terres de la
de la stérilité.
ırd'hui, ces préjugés sont à peu près oubliés;
tombés en désuétude depuis que la médecine
entale a tué l'astrologie. La connaissance plus
es causes qui dirigent l'organisme humain a
ouir l'action d'une force occulte émanant de
ystérieux de la nuit.
éoccupations de la lunaison n'ont jamais trou-
re époque l'industriel dans la préparation ou la
d'une réaction chimique ou d'une opération
.e réclamée par une industrie. Seule l'agricul-
ıservé la tradition de plusieurs préjugés, ou,

pour être plus impartial, de plusieurs opinions touchan
le rôle de la lune dans la réussite de ses diverses opé
rations. Et comme en agriculture la pratique tient à bo
droit une large place, et que l'expérimentation seule ad
mise est celle qui a été répétée un grand nombre de fois
tous les raisonnements des agronomes sont venus s
briser devant les opinions des agriculteurs soutena
que la pratique démontre l'action évidente de la lu
dans le rendement économique de leurs diverses opé
rations.

Quelles sont ces diverses opinions ? Quelle est leu
date ? Sont-elles identiques pour les cultivateurs d'u
même pays ? Varient-elles, au contraire, comme cer
taines vérités, d'un versant à l'autre d'une chaîne d
montagnes ? Quelques documents historiques et une en
quête ouverte auprès des agriculteurs de quelques dé
partements français vont nous permettre de répondr
à ces diverses questions. Il est toutefois nécessaire, pou
apprécier plus exactement les diverses opinions émise
par les cultivateurs, de rappeler ici, en quelques mot
la constitution et les principaux mouvements de l'astr
qui nous préoccupe.

CONSTITUTION ET MOUVEMENTS ASTRONOMIQUES DE LA LU

Les études des astronomes poursuivies tant av
l'aide des télescopes que des mathématiques nous fou
nissent les données les plus précises sur la constitutio
et les mouvements de notre satellite. La lune se pr
sente à nous comme un globe sensiblement sphériqu
tournant toujours vers la terre son même hémisphèr

Sa surface est environ 13 fois plus petite que celle de la erre. Elle exécute, en effet, exactement un tour sur lle-même pendant qu'elle décrit une révolution autour le la terre.

La lune est 49 fois moins grosse que notre globe ; son diamètre est de 870 lieues de 4 kilomètres et sa densité est telle qu'il faudrait 88 lunes pour faire équilibre au poids de la terre.

La surface est environ 13 fois plus petite que celle de la terre et représente 82 fois la superficie de la France ; elle est hérissée d'aspérités analogues aux cratères de nos volcans qui se détachent au milieu de sombres plaines auxquels les premiers géographes de la lune avaient donné le nom de *mers*.

Nous empruntons à la *Description et topographie de la lune*, de MM. Lecouturier et Chapuis, les lignes suivantes qui retracent fidèlement ce que l'on peut voir dans la lune sans le secours d'aucune lunette, en examinant plus spécialement la partie occidentale de son disque.

« Là, non loin du bord, on distingue une petite tache de forme ovale, isolée de toute part au milieu d'un fond lumineux, c'est ce que les astronomes appellent actuellement la *mer des crises*.

» Entre la mer des crises et la partie centrale du disque se trouve une grande tache de forme irrégulière et munie de plusieurs appendices, qui se projette sur une vaste étendue du Nord au Sud, en inclinant un peu vers l'Est. Son sommet est formé par une tache foncée, presque ronde, qui en est comme la tête ; c'est la *mer de la sérénité*.

» Le corps de la tache, très voisin de la *mer des crises*, est représenté par la *mer de la tranquillité*. Vers la

droite, on remarque un petit appendice qui en est un bras. Vers la gauche s'étend un golfe plus considérable qu'on appelle *mer des vapeurs* et qui en forme l'autre bras.

»Tout près de l'équateur lunaire, la *mer de [illegible]quillité* se sépare en deux branches qui repr[illegible]nt les jambes de ce grand corps. La branche la pl[illegible]ne du bord forme la *mer de la fécondité*, et la plus [illegible]o-chée du centre la *mer de nectar*. »

Les montagnes de la lune, en émergeant [illegible]e-ment au milieu des vastes plaines de notre s[illegible]y projettent leurs ombres irrégulières lorsqu'e[illegible]nt éclairées obliquement par le soleil. De plus, les [illegible]es régions de cet astre sont douées d'un pouvoir [illegible]if différent à raison sans doute de leur constitution [illegible]o-gique et réfléchissent inégalement les rayons du [illegible]il. Il en résulte des contrastes d'ombre et de lu[illegible]re d'une très grande variété. La forme de ces ombre[illegible]'a pas peu contribué à faire de la lune une person[illegible]é mythologique. Les trois taches principales de son [illegible]s-que arrondi représentent vaguement, par leur positi[illegible], la bouche et les deux yeux d'une figure humaine. Ces mêmes taches dessinaient pour les Aryens, nos ancêtres, l'image d'un chevreuil; les Chinois mettent un lièvre dans le disque de la lune, et, dans notre bon pays de France, les nourrices racontent encore aux petits enfants l'histoire de l'homme de la lune condamné à perpétuité à porter un énorme fagot de broussailles. Les montagnes lunaires, causes de ces apparences fantastiques, mesurent jusqu'à 7,600 mètres de hauteur; elles sont accompagnées de vastes cratères ressemblant à ceux de nos volcans éteints et atteignant jusqu'à 70 kilomètres de diamètre.

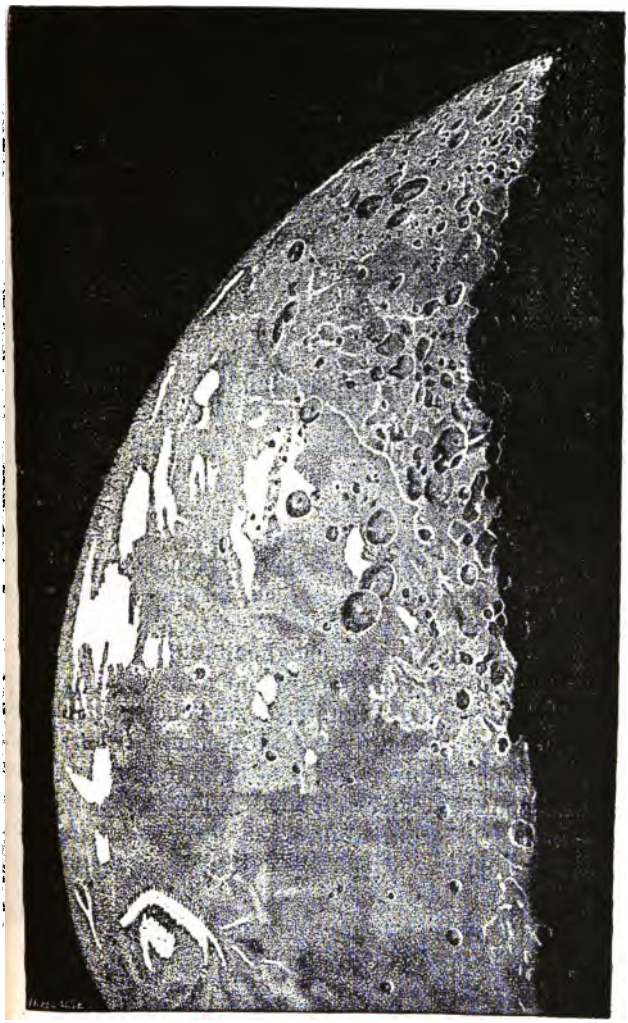


Fig. 74.— Surface de la lune.

Le spectroscope, qui nous avait fait sur la constitution du soleil des révélations si intéressantes, ne nous a rien appris sur la constitution géologique de la lune, parce qu'elle n'émet aucune lumière qui lui soit propre et ne fait que réfléchir vers nous les rayons du soleil.

Les télescopes, au contraire, nous ont permis de faire une anatomie très complète de la surface du monde lunaire. Les plus puissants de ces instruments, tel que celui de lord Ross, peuvent utilement examiner la lune avec des grossissements de 3,000 fois et la rapprocher à 32 lieues de notre œil. On a pu reconnaître la présence d'éboulements de rochers sur les pentes de quelques cratères et saisir des différences de teintes dans les diverses régions de notre satellite.

La lune est-elle habitée ? Telle est la question que se sont posée plusieurs astronomes et aussi quelques philosophes. Si elle l'était, en effet, ne serait-il pas intéressant de faire connaissance à distance avec nos plus proches voisins du système solaire et même, après une entente commune de part et d'autre, d'entrer en relations suivies à l'aide des signaux d'une télégraphie optique à longue portée ?

Mais d'abord la lune est-elle habitable ? Les recherches des astronomes ont montré que la lune était privée d'atmosphère ou que, s'il lui en restait encore quelques traces, elle était réduite à une fort minime épaisseur. Cependant rien ne prouve que la végétation et la faune lunaire ne puissent se développer en l'absence de toute atmosphère. Le ferment, qui transforme en vin le moût de nos raisins, ne respire-t-il pas en mangeant du sucre ?

On connaît à la surface de la lune une centaine de sillons lumineux dont la nature est restée indéterminée.

Un astronome allemand, M. Schwabe, a cherché à déchiffrer cette énigme en les étudiant avec de puissantes lunettes: il les a trouvés, à certaines époques, composés de lignes fines parallèles, sombres et séparées par des rayons lumineux. Quelques mois après, ces lignes sombres et ces rayons lumineux disparaissent, puis reparaissent quelques mois plus tard. M. Schwabe y voit un phénomène de végétation analogue au verdoiement ou au dépouillement annuel de nos allées de grands peupliers.

Pour M. Warren de la Rue, les vastes espaces qu'on a qualifiés du nom de *mers* ne sont autre chose que des forêts.

Mais si la lune est réellement habitée, ne pourrions-nous pas, à l'aide de très puissants télescopes, apercevoir ses habitants ? En réalité il n'est pas impossible d'obtenir des grossissements capables de rapprocher la lune jusqu'à une distance de quelques lieues seulement, telle que l'œil puisse distinguer des objets de la grosseur de nos plus grands animaux terrestres. Mais la transparence de notre atmosphère, qui est imparfaite, semble s'opposer à ce que l'on puisse jamais obtenir une vision suffisamment nette.

Il est juste également de remarquer, avec MM. Lecouturier et Chapuis, que l'aspect des habitants de la lune serait tout autre que celui des animaux que nous sommes habitués à considérer, et cela à raison de la direction dans laquelle ils seraient vus de la terre.

« Si ces hommes étaient faits comme nous et qu'il nous fût donné de les apercevoir, nous ne distinguerions guère de leur corps, pendant qu'ils se tiendraient debout, que le sommet de la tête et le dessus des épaules. Leur visage, leurs membres et leur corps dans toute son

ampleur ne se montreraient à nous que s'ils étaient couchés sur le sol, étendus sur le dos.

» Il suit de là que s'il y avait sur la lune de grands animaux comme nos éléphants, nos chevaux, nos chiens, nous ne les apercevrions que par le dos, sans distinguer ni leur face, ni le devant de leur corps, ni leurs pieds; nous les verrions ramper sur le sol lunaire, à peu près comme les mouches que nous voyons ramper au plafond de nos appartements ».

Toutefois, le grossissement obtenu à l'aide de nos puissants télescopes est tel que, s'il existait sur la lune une armée rangée en bataille ou des troupeaux d'animaux analogues aux troupeaux de buffles de l'Amérique ou même des monuments comme Notre-Dame et le Louvre, on pourrait assez facilement les distinguer. On n'y a encore rien vu de pareil.

Il est donc, jusqu'à nouvel ordre, plus logique de considérer la lune comme un vaste champ aride et fracturé indiquant un astre à son déclin dans l'état où sera réduite notre terre quand elle aura perdu la chaleur qui lui reste encore à dépenser. Un poète contemporain a rendu avec un grand bonheur d'expressions les diverses phases que paraît avoir traversées l'existence du monde lunaire depuis sa naissance jusqu'à nos jours.

Jadis, aux jours du feu, quand la terre en hurlant
Roulait son bloc fluide à travers le ciel blanc,
Elle enfla par degrés sa courbe originelle,
Puis, dans un vaste effort, creva ses flancs ignés
Et lança vers le flux des mondes déjà nés
La Lune qui germait en elle.

Alors, dans la splendeur des siècles éclatants,
Sans relâche, sans fin, à toute heure du temps,
La Mère, ivre d'amour, contemplait dans sa force
L'astre enfant qui courait comme un jeune soleil.
Il flambait. Un froid vint l'engourdir de sommeil
Et pétrifia son écorce.

Puis ce fut l'âge blond des tiédeurs et des vents,
La Lune se peupla de murmures vivants;
Elle eut des mers sans fond et des fleuves sans nombre,
Des troupeaux, des cités, des pleurs, des cris joyeux;
Elle eut l'amour, elle eut ses arts, ses lois, ses dieux,
Et lentement rentra dans l'ombre.

Depuis rien ne sent plus son baiser jeune et chaud;
La Terre qui vieillit la cherche encore là-haut:
Tout est nu. Mais le soir passe un globe éphémère
Et l'on dirait, à voir sa forme errer sans bruit,
L'âme d'un enfant mort qui reviendrait la nuit
Pour regarder dormir sa mère.

E. Haraucourt.

La lune gravite à 96000 lieues de notre terre et tourne autour d'elle à raison de plus de 1 kilomètre par seconde, tout en l'accompagnant dans sa marche annuelle autour du soleil. Il résulte de ce double mouvement que le chemin tracé par la lune dans l'espace est une sorte de cercle festonné qui se reproduit tous les ans sous une forme semblable, sans toutefois repasser exactement sur ses premières traces. Il arrive toutefois qu'au bout de 18 ans 11 jours, la lune reprend exactement le même chemin qu'elle avait suivi pendant sa première année. Il en résulte une périodicité rigoureuse de tous les phénomènes qui résultent des positions réciproques de la lune, de la terre et du soleil.

Dans chacun de ses voyages annuels, la lune passe autant de fois entre la terre et le soleil qu'elle accomplit de révolutions autour de la terre et laisse un même nombre de fois la terre entre elle et le soleil. Dans le premier cas, la terre aperçoit l'hémisphère de la lune opposé à celui qu'éclaire le soleil : la lune est alors à peine visible, elle n'est illuminée que par le seul reflet de la terre éclairée par le soleil : c'est l'époque de la

nouvelle lune. Dans le second cas, la terre voit l'hém sphère de la lune directement éclairé par le soleil : c'e

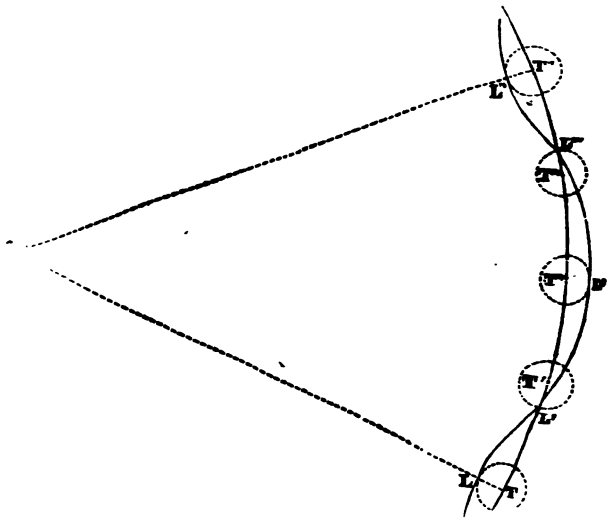


Fig. 75.— Forme sinueuse de l'orbite annuelle de la lune.

l'époque de la *pleine lune*. La lune nouvelle devient pleine lune et *vice versâ* par une série de gradations insensibles, dont chacune, observée à un jour d'intervalle, constitue autant de *phases lunaires* distinctes. La lune met 29 jours 12 heures 44 minutes pour revenir à la même phase et pour reprendre la même position qu'elle occupait relativement à la terre et au soleil. Cette période est connue sous le nom de *lunaison ;* le nombre de jours qui sépare les diverses phases de la lune représente *l'âge de la lune*. Le premier jour de la lune est dit jour de la *nouvelle lune ;* le huitième jour

est le *premier quartier;* le quinzième jour est le jour de *pleine lune;* le vingt-deuxième est le *dernier quartier.*

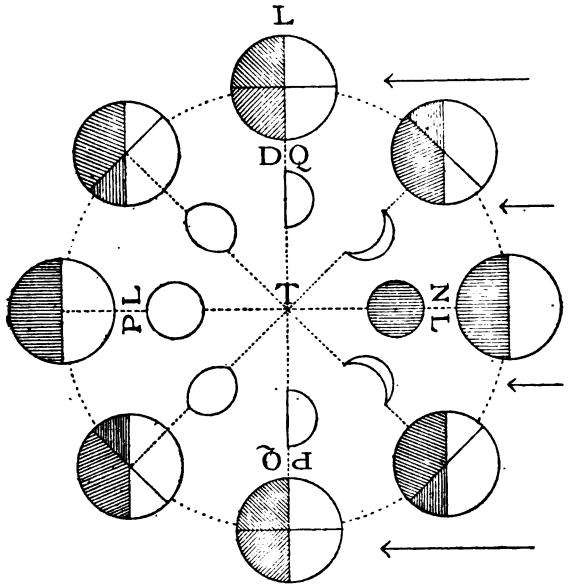


Fig. 76.— Les phases de la lune.

La partie éclairée de la lune, qui apparaît vers les premiers jours après la nouvelle lune, affecte la forme d'un croissant dont l'épaisseur croît avec l'âge de la lune jusqu'à la pleine lune du 15e jour. La lune croît du 1er au 15e jour; elle décroît du 15e au 30e jour de la lunaison. Les intervalles successifs du 1er au 8e, au 15e, au 22e, au 30e jour, sont appelés quelquefois 1er, 2e, 3e, 4e octant.

La nouvelle lune se voit faiblement le soir au couchant, peu de temps après le coucher du soleil, et disparaît bientôt sous l'horizon.

La pleine lune apparaît à l'orient après le coucher du soleil et brille toute la nuit.

Il est facile de savoir si le croissant de la lune observée dans le ciel correspond au premier ou au dernier quartier. Le croissant du premier quartier ou de la lune croissante a ses cornes dirigées vers l'orient. Le croissant du dernier quartier ou de la lune décroissante a ses cornes dirigées vers l'occident. Le premier figure dans le ciel la lettre D; le second la lettre C.

Les matelots posent en principe que la lune ne dit jamais la vérité; si elle écrit D, première lettre de *Décroître*, c'est qu'elle croît au contraire, et si elle écrit C, première lettre de *Croître*, c'est qu'elle décroît précisément à ce moment.

Lorsque la partie du disque lunaire éclairée par le soleil et visible de la terre est réduite à un croissant très délié, il est, en général, possible de distinguer, surtout dans le voisinage du coucher du soleil, le reste du disque teinté d'une lumière grisâtre que l'on appelle la *lumière cendrée*. La terre vue de la lune donnerait, en effet, à ses habitants, s'ils existaient, l'impression de nos clairs de lune; ce seraient pour eux des *clairs de terre*, et c'est la lumière rayonnée par la terre vers la lune qui illumine faiblement la partie de notre satellite privée des rayons directs du soleil.

Fig. 77. — Lumière cendrée de la lune.

Il est bon de rappeler ici la méthode pratique que l'on peut employer pour trouver l'âge de la lune à une date quelconque de l'année. Il suffit pour cela de connaître l'âge de la lune au 31 décembre de l'année précédente. Cet âge, donné dans tous les calendriers, est connu sous le nom d'*épacte*.

On ajoute à l'épacte le quantième du mois pour lequel on veut connaître l'âge de la lune. On ajoute ensuite au nombre trouvé autant de jours qu'il y a de mois depuis janvier inclusivement, si le mois de l'année pour lequel on cherche l'âge de la lune est antérieur à mars, ou depuis mars inclusivement pour tous les autres mois de l'année. On obtient ainsi un nombre qui donne l'âge de la lune s'il est inférieur à 30. Dans le cas contraire, on retranchera 30 du nombre trouvé ; le reste donnera l'âge de la lune. Pour les années bissextiles, on ajoute une unité en plus, si l'on cherche l'âge de la lune pour un jour de l'année postérieur au 28 février.

Exemple : On demande l'âge de la lune au 25 mai 1888.

L'épacte au 31 décembre 1887 est . .	17
Nombre de mois de mars à mai . . .	2
L'année 1888 est bissextile	1
Le quantième proposé est	25
Total	45

On retranche 30, il reste 15. L'âge de la lune au 25 mai sera représenté par le nombre 15. Le 25 mai sera donc un jour de pleine lune.

La date de la première pleine lune qui suit l'équinoxe de mars présente une importance spéciale, parce qu'elle sert à fixer l'époque du dimanche de Pâques. Le jour de Pâques est fixé au premier dimanche qui suit cette pleine lune.

Si nous appliquons la règle donnée ci-dessus pour

le calcul de l'âge de la lune au 21 mars de l'année 1892, nous trouvons:

Epacte ou âge de la lune au 31 décembre 1891	= 1
Nombre de mois de mars à mars	= 0
L'année 1892 est bissextile	= 1
Le quantième proposé est le 21 mars.	= 21
L'âge de la lune sera: Total	= 23

Au 21 mars, la lune sera âgée de 23 jours ; la pleine lune de mars, qui a lieu au quinzième jour de son âge, a donc eu lieu 23 — 15 — 8 jours avant le 21 mars, soit le 13 mars. La pleine lune suivante aura lieu 30 jours après, soit le 12 avril, puisque mars a 31 jours.

Le dimanche de Pâques sera celui qui suivra le 12 avril.

Pour trouver sa date, on remarquera que les lettres dominicales de l'année 1892 sont C et B, ce qui signifie que pour les dates postérieures au 28 février, on peut considérer que l'année 1892 n'a eu que 28 jours en février, mais que sa lettre dominicale est B, ce qui indique que le premier dimanche de l'année a eu lieu le 2 janvier *pour le calcul des dates*. Or, du 2 janvier au 12 avril, il s'écoule en janvier 29 jours, en février 28, en mars 31, en avril 12, soit au total 100 jours. Or, $100 = 14 \times 7 + 2$, il s'écoulera donc 14 semaines et 2 jours du 2 janvier au 12 avril. Le 12 avril est donc un mardi et 5 jours après sera le dimanche. Pâques a donc eu lieu, en 1892, le 17 avril.

Le mouvement de la lune autour de la terre présente une autre particularité. Si l'on pouvait voir dans le ciel la trace du plan de l'équateur, on constaterait que pendant 13 jours 1/2 environ, la lune reste au-dessous de ce plan, et que, pendant 13 jours 1/2 environ, elle brille au-dessus de ce plan. Ce qui revient à dire que pendant

a durée d'une lunaison, la lune brille dans le ciel alternativement dans l'hémisphère nord et dans l'hémisphère sud. Nous avons vu que le soleil réalisait ces mêmes apparences dans l'intervalle de l'année et que ce passage du soleil de l'hémisphère nord à l'hémisphère sud était dû à l'inclinaison du plan de l'orbite terrestre sur le plan de l'équateur.

De même les excursions périodiques de la lune de part et d'autre du plan de l'équateur proviennent de ce que le plan de l'orbite de la lune est incliné sur celui de l'équateur. Supposons, en effet, un observateur placé à moitié chemin du versant d'une montagne exposée au Midi et imaginons qu'un astre, tel que la lune, parcoure tout autour de l'observateur le plan incliné constitué par le versant de la montagne.

L'observateur regardant l'astre successivement vers le nord, puis vers le sud, le verrait au-dessus, puis au-dessous de l'horizon. A l'est et à l'ouest, l'astre lui paraîtrait deux fois, dans sa course circulaire, se confondre avec ce même horizon. De même, par le fait que la lune se meut dans un plan incliné sur l'équateur terrestre, elle se trouve, à 27 jours 7 heures 43 minutes d'intervalle, deux fois dans le plan de l'équateur, le premier et le treizième jour; au septième jour elle est au-dessus de l'équateur d'un même nombre de degrés.

L'angle dont l'astre se trouve au-dessus ou au-dessous de l'équateur est appelé *déclinaison* boréale ou australe de la lune. Or, le plan de l'orbite où se meut la lune fait avec l'équateur un angle variable de 18° à 28° dans un intervalle de 18 ans 11 jours. Il suit de là que les déclinaisons maxima des périodes de 28 jours passent par des maxima absolus de 28° et des minima absolus de 18° dans un intervalle de 18 ans. Nous ver-

rons ultérieurement que certains phénomènes météorologiques peuvent être influencés et par le sens boréal ou austral des déclinaisons lunaires et par l'amplitude de ces mêmes déclinaisons. Il y avait donc là une notion importante à signaler.

INFLUENCES EXERCÉES PAR LA LUNE A LA SURFACE DU GLOBE TERRESTRE

Radiations lunaires. — Un phénomène dont la réalité ne saurait être discutée est celui du rayonnement calorifique et lumineux de la lune. Tous les corps rayonnent vers l'espace tant que leur température diffère de celle des corps qui les environnent à distance. La lune fût-elle à la température des espaces interplanétaires qu'elle rayonnerait vers nous la chaleur que rayonnent ces mêmes espaces. Mais comme cette chaleur est émise à une température plus basse que celle de notre globe, la lune nous rayonnerait du froid aussi bien que les espaces interplanétaires et abaisserait ainsi par sa présence sur l'horizon la température de notre globle.

La lune toutefois reçoit les rayons du soleil et en réfléchit une partie dans toutes les directions, mais plus spécialement vers la terre au moment de la pleine lune. Il pourrait donc se faire que la lune nous envoyât alternativement du froid et du chaud à ses diverses phases. La température de notre globe serait donc modifiée en sens inverse, au moment de la nouvelle lune et de la pleine lune, et l'opinion des agriculteurs serait ainsi justifiée.

Il reste donc à préciser la valeur de l'accroissement

e température que la lune peut apporter à la surface e notre globe. Or, si l'on expose un thermomètre très ensible au foyer d'un miroir ou d'une lentille de grandes dimensions, capable de rassembler un large faisceau des rayons émis par la lune, on n'obtient qu'une lévation de température à peine sensible, alors que a chaleur solaire concentrée dans les mêmes conditions éduirait en vapeur nos métaux les plus réfractaires. La uantité de chaleur rayonnée par la lune dans son plein st donc faible ; mais on peut se demander si la nature le cette chaleur rayonnée serait plus spécialement favorable à la végétation de nos plantes terrestres, si, en n mot, la lumière de la lune possède des propriétés péciales auxquelles nulle autre lumière ne peut supléer.

On remarque tout d'abord que cette lumière est très aible, si on la compare à celle du soleil ; on voit ensuite ue sa nature est celle de la lumière solaire dont elle lérive par une simple réflexion.

Bouguer a évalué l'intensité de la lumière donnée par la lune par rapport à celle envoyée par le soleil et a trouvé que dans les conditions les plus favorables, elle ne dépassait pas 1/300,000 de celle du soleil. Robert Smith, par le calcul en admettant que la surface de la lune ne réfléchisse que le 1/4 de la lumière incidente, est arrivé à peu près à la même valeur. Wollaston a donné un nombre plus de deux fois moindre : 1/800,000.

Zollner a montré que si l'on représente par 1000 la blancheur absolue d'une surface mate réfléchissant en totalité la lumière incidente, la blancheur de la lune serait 174, soit 1/6 environ. Le pouvoir réflecteur de la lune serait intermédiaire entre celui du sable blanc et

d'une marne argileuse et la lune ne réfléchirait que la 618,000me partie de la lumière du soleil. Autrement dit, si l'intensité lumineuse d'un foyer incandescent était dans ses extrêmes limites, proportionnelle pour notre œil à la quantité de lumière qu'il envoie, la lune nous paraîtrait 618,000 fois moins lumineuse que le soleil.

Si l'on admet que la lune possède pour la chaleur du soleil le même pouvoir réflecteur que pour la lumière, on voit que, tandis qu'en concentrant avec une énorme lentille un faisceau de soleil on peut obtenir des températures voisines de 2,000 degrés, l'élévation de température résultant de la concentration d'un faisceau égal de chaleur lunaire ne serait que 1/150 de degré. Il est donc difficile de mettre en évidence la chaleur rayonnée par la lune.

On voit, par ces nombres, combien doit être faible l'influence que la radiation lunaire peut exercer sur la végétation et, à moins de vouloir supposer que les plantes ont absolument besoin d'y voir clair pendant un certain nombre de nuits par mois, afin d'élaborer certains matériaux assimilés dans les périodes précédentes, on ne peut songer à trouver l'explication des influences de la lune dans la lumière qu'elle émet. Le soleil subit d'année en année des variations d'intensité incomparablement plus grandes que celles de la radiation lunaire, et cette influence réelle sur la végétation est le plus souvent complètement masquée par l'entrecroisement ou la variation des autres facteurs de la végétation.

Du reste, l'observation de la lune est un excellent moyen de juger de la pureté du ciel et de l'abondance de l'humidité dans les régions supérieures de l'atmosphère. Le phénomène très fréquent des auréoles qui entourent

lune, et qui fait dire que *la lune boit*, est dû à la diffu-ɔn de la lumière lunaire par les fines gouttelettes eau en suspension dans l'atmosphère. La largeur de couronne dépend de la finesse et de l'abondance des ɔuttelettes interposées et révèle l'humidité des régions ıpérieures de l'atmosphère alors que la limpidité du ıel en paraît à peine voilée.

La *netteté des cornes* de la lune est aussi un indice e la pureté du ciel et par suite du beau temps. La *cou-ːur rouge* du disque lunaire signale une absorption lus grande de sa lumière par une augmentation de humidité de l'atmosphère. Les rayons rouges sont ıoins absorbés que les autres rayons lumineux par leur ıassage au travers de l'air humide.

Aussi peut-on retirer de l'observation de la lune ɹuelques indications que l'on peut résumer ainsi :

Signes de beau temps : les cornes du croissant tranchent ıettement sur le fond du ciel ; la lune au plein est claire ɜt sans auréoles à l'entour.

Signes de mauvais temps : les cornes sont estompées, ıe croissant est marqué de taches noires. Le disque de la lune est rougeâtre ; il est accompagné, la nuit, d'auréoles rougeâtres ou grisâtres.

La lumière émise par la lune est polarisée partiellement, comme celle du soleil, par ses réflexions multiples sur les particules d'eau ou de poussière en suspension dans l'atmosphère, et les variations dans la fraction de lumière polarisée peuvent servir d'indice aux variations correspondantes de composition de l'atmosphère. Faisant allusion à cette possibilité de pouvoir être averti des changements de temps, M. Cornu faisait remarquer au Congrès de Limoges pour l'association française (1890) que si l'époque de la lunaison permet de continuer

l'observation polarimétrique pendant la nuit, on pe établir une continuité très favorable à la précision d données recueillies pendant le jour. M. Cornu a, effet, plusieurs fois remarqué que lorsque les conditio météorologiques sont stables, la proportion de la lumi polarisée était sensiblement la même la nuit que le jo mais que cette constatation demandait à être vérifi par de nouvelles observations.

Cet appel devait être entendu. M. Piltschikoff a fa récemment (1892), à Karkow, de nombreuses séri d'observations de la lumière de la lune à l'aide du po larimètre de M. Cornu. Il a vérifié qu'il existait en gé néral une variation sensible de la fraction de lumièr polarisée du jour à la nuit. La proportion de la lumière polarisée dans le ciel pendant la nuit diminue d'un manière continue depuis l'époque de la pleine lune, o elle est à son maximum, jusqu'à la nouvelle lune, où ell est égale à zéro ; elle croît ensuite de la nouvelle lune à la pleine lune. Au moment de la nouvelle lune, la seule lumière émise dans le ciel est celle des étoiles, et comme elle nous arrive de toutes les directions de la sphère céleste, elle ne saurait être polarisée. La polarisation de la lumière du ciel pendant la nuit dépend donc *non* seulement de la fraction de lumière polarisée émise par la lune, mais encore du rapport des quantités de lumière envoyées simultanément par la lune et par les étoiles.

Frappé de l'intérêt de ces premiers résultats, M. Piltschikoff, qui n'a pas hésité à consacrer ses nuits à l'examen de la lumière polarisée de la lune, se propose de continuer ses intéressantes observations qui appellent l'attention des météorologistes désireux d'intéresser scientifiquement la lune à la prévision du temps.

La lune rousse. — On rapporte que Louis XVIII, re-
ant une délégation du Bureau des longitudes, qui
ait lui présenter la Connaissance des temps et l'An-
aire, après avoir remercié Laplace, son président, crut
voir lui adresser une question quelque peu indiscrète:
espère, lui dit-il, que vous allez m'expliquer ce que
st que la lune rousse et quelle est son action sur les
oltes.»

Laplace, quelque peu embarrassé par cette question
prévue, à laquelle il n'avait pas d'ailleurs réfléchi en
essant les tables du temps, dut se contenter de répon-
e que la lune rousse n'avait rien de commun avec la
ne dont il était question dans l'Annuaire.

Si Louis XVIII eût consulté un jardinier au lieu d'em-
rrasser un astronome, il eût, dès cette époque,
tenu la définition suivante de la lune rousse: La lune
usse est la lune qui, commençant en avril, devient
eine à la fin de ce mois ou plus ordinairement dans le
urant de mai.

Mais il était plus difficile de répondre à la deuxième
rtie de l'indiscrète interrogation: «Quelle est l'action
e la lune rousse sur les récoltes» ? Arago ne tarda pas
faire remarquer que le froid attribué à la lumière de
lune de fin avril n'était que la conséquence de l'exa-
ération du rayonnement nocturne à cette époque de
année. L'atmosphère, débarrassée de sa vapeur par
s froids de l'hiver qui la condensent, n'offre plus
'obstacle à la déperdition de la chaleur du sol. Les
ourgeons des plantes, refroidis à plusieurs reprises
ar ces brusques abaissements de la température, souf-
rent ou même gèlent à la surface et ne tardent pas à
oussir. La lune n'avait que le seul tort d'assister, ra-
lieuse et presque réjouie, à ces brusques refroidisse-

ments de la végétation. Si le ciel d'avril eût été moi pur, la lune cachée derrière un nuage eût passé in perçue et la lune brillante d'avril n'eût pas mérité l'é thète injurieuse de lune rousse.

Cette explication toute moderne avait été pressen par Pline, qui écrivait: «La conjonction et la pleine lu ne sont nuisibles, même pendant les nuits, que lorsq le temps est serein et l'air complètement calme. c avec des nuages et du vent, la rosée ne tombe pas.»

La plupart des arbres fruitiers, tels que les pêcher les abricotiers, les poiriers et les pommiers, sont sens bles aux méfaits attribués à la lune rousse qui déterm nent assez souvent, au début du printemps, le roussis sement de leurs bourgeons sur le point de s'épanouir. Cette brûlure superficielle est tantôt légère et bénigne, tantôt profonde et mortelle. Elle n'est jamais utile au arbres fruitiers et l'on s'explique facilement que les jar diniers aient gardé une rancune héréditaire à la lun rousse d'avril.

Un de nos poètes du commencement du siècle, M. Chenedollé, a consacré quelques pages heureuses à l'exposé des méfaits des gelées d'avril qu'il n'a pas songé du reste à attribuer un seul instant à la lune rousse. Le lecteur trouvera dans les vers qui suivent une description assez exacte du phénomène.

Mais du soir, tout à coup, les horizons rougissent,
Le ciel s'est coloré, les airs se refroidissent,
Et l'étoile du nord, qu'un char glacé conduit,
Etincelle en tremblant sur le sein de la nuit.
Soudain l'âpre gelée, aux piquantes haleines,
Frappe à la fois les prés, les vergers et les plaines,
Et le froid aquilon, de son souffle acéré,
Poursuit dans les bosquets le printemps éploré.
C'en est fait; une nuit d'haleine empoisonnée

A séché dans sa fleur tout l'espoir de l'année.
Le mal se cache encore sous un voile incertain ;
Mais quand l'aube eut blanchi les portes du matin,
Que son premier rayon éclaira de ravages !
Tout du fougueux Borée attestait les outrages.
Le fruit tendre et naissant que septembre eût doré,
Par le souffle ennemi s'offre décoloré.
La vigne, autre espérance, en proie à la froidure,
A du pampre hâtif vu mourir la verdure.
L'épi, dans ses tuyaux vainement élancé,
Est frappé par le givre et retombe affaissé.
Le pommier, que parait sa fleur prématurée,
A vu tomber l'honneur de sa tête empourprée
Et, plus honteux encore de ses bouquets flétris,
L'arbre de Cérasonte a pleuré les débris.

CHENEDOLLÉ *(Etudes poétiques)*.

Éclipses de lune, — Au moment de la pleine lune, la terre s'interpose entre le soleil et la lune ; elle supprime donc, en faisant l'office d'un vaste écran, la lumière du soleil pour une certaine partie du ciel dans la direction de la lune. Il en résulte un immense cône d'ombre qui s'étend jusqu'à 216 fois le rayon terrestre. Les dimensions transversales de ce cône d'ombre varient depuis

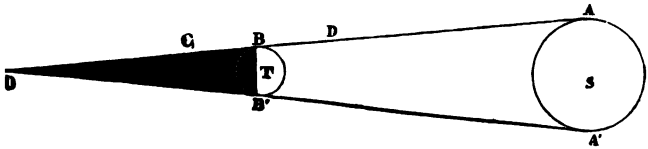


Fig. 78. — Eclipse de lune : l'ombre portée par la terre atteint la lune.

zéro à son extrémité jusqu'au diamètre de la terre que forme sa grande base. A moitié distance, c'est-à-dire à 108 rayons terrestres, les dimensions transversales du cône d'ombre sont encore 1/2 diamètre terrestre. Or,

le diamètre de la lune n'est que les 3/11 de celui de la terre, soit 1/4 environ, et comme elle ne gravite qu'à 60 rayons terrestres, elle pourra être tout entière comprise dans le cône d'ombre. Si la lune, la terre et le soleil étaient en même ligne droite à chaque pleine lune, c'est-à-dire si le soleil et la lune avaient la même déclinaison, il y aurait disparition de la lune à chaque lunaison; mais cette orientation en ligne droite des trois astres n'est que rarement remplie. Quand elle est à peu près exactement satisfaite, la lune disparaît tout entière

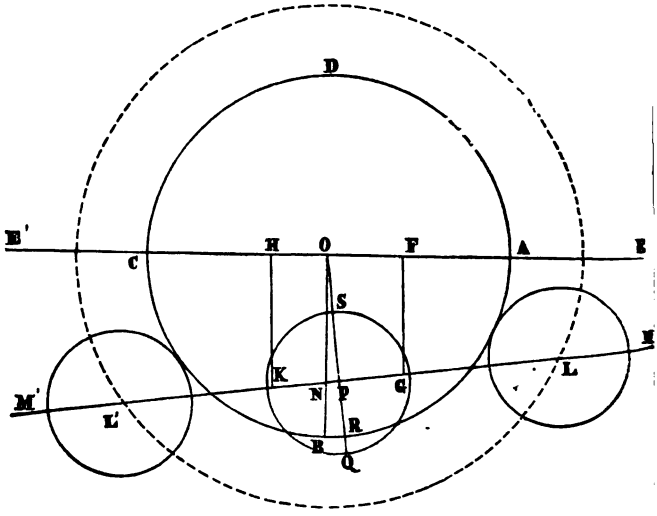
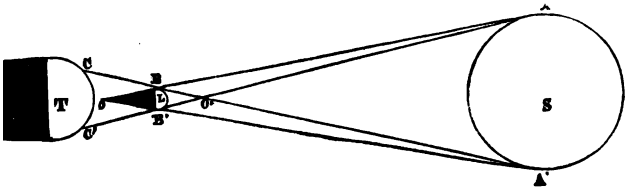


Fig. 79.— Phases successives d'une éclipse de lune.

dans le cône d'ombre : il y a éclipse totale. Quand elle ne pénètre qu'en partie dans le cône d'ombre, il y a éclipse partielle. Les éclipses de lune ont toujours lieu évidemment au moment de la pleine lune.

Le phénomène, qui est assez fréquent, se traduit à son out par une échancrure du disque de la lune qui va ndissant jusqu'à l'occultation complète de l'astre : clipse est totale. La forme de l'échancrure est circu- re ; c'est la forme du contour de la section du cône mbre, et cette particularité démontre une fois de plus e la terre est ronde, puisque l'ombre qu'elle porte re exactement cette forme, quel que ce soit du reste méridien qu'elle présente alors au soleil.

Éclipses de soleil. — Au moment de la nouvelle lune, lle-ci est située entre le soleil et la terre ; elle forme nc écran et prive de la lumière du soleil toute une gion du ciel dans la direction de la terre. L'ombre isi portée par la lune forme un cône assez étendu, ais moins développé cependant que celui produit par



g. 80. — Eclipse annulaire de soleil : l'ombre portée par la lune n'atteint pas la terre.

terre pendant les éclipses de lune. Le diamètre de la ne n'étant guère que le quart de celui de la terre, la ngueur du cône d'ombre développé n'est que d'envi- n 60 rayons terrestres au lieu de 216. De plus, comme lune, tant par suite de sa rotation autour de la terre ue des variations de distances de la terre au soleil, éloigne et se rapproche périodiquement du soleil dans cours de l'année, la longueur de son cône d'ombre

varie environ de 58 à 64 rayons terrestres. D'autre par la distance de la lune à la terre varie environ de 56 à rayons terrestres. La terre sera atteinte par le cô d'ombre si la distance à laquelle elle se trouve de la lu est inférieure à la longueur simultanée du cône d'ombr elle ne sera atteinte que par une pénombre ou ombr partielle dans le cas contraire. Dans le premier cas, le

Fig. 81. — Eclipse totale de soleil : l'ombre portée par la lune atteint la terre.

les points recouverts par le cône d'ombre seron plongés dans une obscurité complète et privés de l lumière du soleil, il y aura *éclipse totale*. Dans le second cas, les régions atteintes par la pénombre auront une partie du soleil masquée par le cône d'ombre. La région encore visible de l'astre sera d'ailleurs concentrique à la partie centrale effacée et l'éclipse sera *annulaire*. Enfin, en dehors de la pénombre, c'est-à-dire pour les régions de la terre assez voisines des points pour lesquels il y a eu éclipse totale ou annulaire, une partie du soleil pourra seulement être cachée par la lune. Il y aura *éclipse partielle*.

Le calcul montre que la plus grande durée possible d'une éclipse de soleil est de $4^h 29^m$ pour un lieu situé sous l'équateur, et $3^h 26^m$ à la latitude de Paris. Mais le soleil, pendant une éclipse totale, ne peut être mas-

ué complètement pendant plus de $7^m 58^s$ sous l'équa-
ɔur et $6^m 10^s$ à Paris.

Prévision des éclipses de lune et de soleil.— La pré-
ision des éclipses de lune est plus facile que celle des
clipses de soleil. Nous avons vu, en effet, qu'elles se
roduisaient chaque fois que, au moment de la pleine
ıne, les déclinaisons de la lune et du soleil étaient
gales. Comme ces valeurs peuvent être calculées à
avance, il est toujours possible de prévoir l'heure
xacte et la durée du phénomène. Une autre observa-
on avait du reste permis leur prévision dès l'antiquité.

Dans sa révolution mensuelle autour de la terre, la
ıne croise deux fois le plan de l'écliptique. Ces deux
oints sont appelés les *nœuds de la lune*. Chaque fois
ue la lune y arrive, sa déclinaison et celle du soleil
ont égales, et si à ce moment il y avait pleine lune, il
aurait éclipse de lune. Mais, en général, la lune n'ar-
ive pas à un de ses nœuds en même temps que les
onditions de pleine lune sont réalisées. Toutefois, les
œuds de la lune se déplacent assez rapidement sur
écliptique et en font le tour en 18 ans 2/3. Pendant
et intervalle, il aura donc existé des périodes pour
ɔsquelles les conditions de pleine lune et d'égale décli-
aison auront forcément été remplies. De plus, un in-
ɔrvalle de 19 révolutions des nœuds correspond assez
xactement à 223 lunaisons. Si donc une éclipse de lune
'est produite une année au moment où la lune se trou-
ant à l'un des nœuds, les positions de pleine lune étaient
imultanément réalisées 223 lunaisons plus tard, les
astres seront exactement placés de la même manière
t tous leurs mouvements se reproduiront identique-
ıent jour par jour comme ceux de la première période.

Toutes les éclipses de lune qui se sont réparties à certaines dates pendant le premier intervalle de 223 lunaisons se répèteront aux mêmes dates de la période suivante de 223 lunaisons, et le catalogue des dates d'éclipses dressé pour la première période servira pour la seconde.

Ce que l'on vient de dire pour les éclipses de lune est applicable aux éclipses de soleil. Mais comme l'ombre de la lune ne recouvre qu'une région très limitée de la terre, la période de 223 lunaisons indique seulement l'époque pour laquelle il y aura une éclipse visible de notre globe, mais ne détermine en rien les régions pour lesquelles elle sera observable. Il faut des calculs astronomiques assez compliqués pour définir exactement les régions de notre globe pour lesquelles une éclipse de soleil sera totale, annulaire ou partielle, et pour fixer l'heure du commencement et de la fin du phénomène pour une localité déterminée. La période des 223 lunaisons observées par les Chaldéens était désignée par eux sous le nom de *Saros*. Cette période du Saros ramène, en 18 ans 11 jours, 75 éclipses, dont 46 de soleil et 29 de lune.

Quoiqu'il y ait plus d'éclipses de soleil que de lune, le second phénomène est plus fréquent que le premier pour un même point de la terre. Les éclipses de soleil ne sont visibles que successivement et pour une faible partie de l'hémisphère terrestre tourné vers le soleil. Dans une année, il y a au plus 7 éclipses et au moins 2; dans ce dernier cas, ce sont deux éclipses de soleil; en moyenne il y en a 4. Mais, en un lieu déterminé, on ne voit ordinairement qu'une éclipse de soleil par an et seulement *une éclipse totale* par *siècle*.

C'est à cette rareté des éclipses de soleil et à l'impor-

ance des rayons de cet astre qu'il faut attribuer les impressions particulières exercées par ces phénomènes sur l'homme et sur les animaux. Dans les conditions générales de la distribution de la lumière du soleil, nous ne voyons jamais la nuit en plein air succéder brusquement à la pleine lumière; un tel événement, pour un esprit même prévenu, correspond à une dérogation aux lois générales de la nature. Dans les Indes orientales, on croit que les griffes du Dragon veulent saisir le soleil au moment des éclipses, et les Indiens se mettent à l'eau pour fléchir l'inexorable divinité qui, du reste, n'est jamais longtemps inflexible. Les Grecs attribuaient les éclipses de lune aux sortilèges des magiciens, qui avaient besoin que l'astre de la nuit descendît sur la terre pour présider à leurs incantations nocturnes. Et au XVII[e] siècle, Fontenelle écrivait : « Et nous, n'eûmes-nous pas belle peur, il n'y a que 32 ans (en 1654), à une certaine éclipse de soleil qui, à la vérité, fut totale? Une infinité de gens ne se tinrent-ils pas enfermés dans les caves? Et les philosophes, qui écrivirent pour nous rassurer, n'écrivirent-ils pas en vain ou à peu près ! Ceux qui s'étaient réfugiés dans les caves en sortirent-ils ? »

Dans une éclipse totale de soleil, les ténèbres succèdent peu à peu à la lumière ; les oiseaux cessent leur ramage et disparaissent aussitôt. Le thermomètre baisse et l'on ressent de la fraîcheur. La rosée se dépose sur la terre ; le disque du soleil est bientôt complètement noirci ; les ombres de la nuit s'étendent sur l'horizon et les étoiles brillent au firmament. Puis quelques rayons de lumière jaillissent des bords du disque du soleil, le jour renaît, la nature se réveille et la terreur fait place à un sentiment de joie et de bien-être, qui, chez

l'homme civilisé, se traduisent par un sentiment de reconnaissance envers la cause créatrice à laquelle nous rapportons les bienfaits du soleil.

Alors même que l'éclipse du soleil n'est que partielle, les mêmes impressions tendent à se manifester, et alors même que la lumière de l'astre n'est que faiblement diminuée, une apparence spéciale de l'ombre projetée sur le sol par le feuillage de nos arbres vient nous avertir qu'il se passe quelque chose d'insolite. On sait que l'on peut construire des appareils photographiques sans lentilles de verre ; il suffit de remplacer les lentilles de l'objectif par une plaque opaque, percée à son centre d'un trou d'épingle. Les rayons émis par un objet lumineux traversent l'étroit orifice et se projettent symétriquement sur le fond de la chambre noire en y reproduisant l'image de l'objet. De même, les rayons de soleil qui passent au travers des interstices des feuilles de nos arbres parsèment-ils le sol de petits ronds de soleil qui sont autant d'images circulaires du disque du soleil. Mais si celui-ci vient à présenter une échancrure, les images portées sur le sol offrent cette même particularité, et l'ombre du feuillage est parsemée de taches rondes échancrées sur l'un de leurs bords présentant aux diverses phases de l'éclipse des formes analogues à celles du disque de la lune aux périodes successives de ses lunaisons.

Marées de l'Océan. — Une deuxième intervention des mouvements de la lune dans les phénomènes de notre globe est le phénomène des marées. Tous les corps s'attirent ou font semblant de s'attirer; cette attraction diminue avec la distance ; elle est, comme on le disait au XVII^e^ siècle, en raison renversée du carré de la distance ;

elle est aussi proportionnelle au produit des masses des deux corps qui s'attirent. Il suit de là que bien que la lune soit assez éloignée de la terre, sa masse et celle de notre planète sont assez respectables pour déterminer une attraction sensible qui se traduit par le soulèvement des eaux de la mer. L'eau monte vers la lune jusqu'à ce que le poids de l'eau soulevée fasse équilibre à cette attraction. Par une raison de symétrie et aussi d'équilibre dans les attractions que subit la nappe d'eau aux deux extrémités d'un même diamètre, la mer se renfle à l'opposé de la nappe soulevée par l'attraction directe. L'eau, moins attirée en effet à l'extrémité opposée du diamètre terrestre, dans la direction de la lune depuis que la nappe liquide s'est renflée à l'avant, en déplaçant dans cette direction et le centre de gravité et le centre d'attraction de notre globe, tend à s'enfuir à l'opposé de la lune et à s'éloigner de terre jusqu'à ce que le poids de la couche soulevée fasse équilibre au déficit d'attraction créé en dernier ressort par l'attraction lunaire.

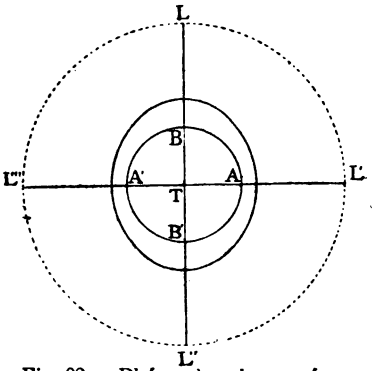


Fig. 82.— Phénomène des marées.

Il suit de là qu'une double montagne d'eau se forme à la surface des mers, et comme la terre ne cesse de tourner sur elle-même beaucoup plus vite que la lune ne tourne autour d'elle, les deux montagnes d'eau passent chacune à 12 heures d'intervalle au-dessus de nos

mers, en y déterminant le phénomène de la marée. L'intensité de la marée dépend de la distance variable de la lune à la terre, de la position qu'occupe par rapport au point considéré le sommet de la montagne d'eau qui peut être tantôt sur l'équateur, tantôt en dessus, tantôt en dessous, suivant que la déclinaison lunaire est nulle, boréale ou australe. Cette intensité dépend aussi de l'aide que vient prêter l'attraction du soleil qui s'ajoute ou se retranche de l'attraction lunaire, suivant qu'elle s'exerce dans le même sens ou dans une direction rectangulaire. Les marées de nouvelle et de pleine lune, *marées de syzygies*, sont beaucoup plus intenses que les marées de premier et dernier quartiers, *marées de quadratures*. Enfin, l'importance des marées varie encore avec la grandeur des mers et la forme des rivages contre lesquels la montagne d'eau vient s'échouer.

Le phénomène des marées étant un phénomène périodique diurne, on ne peut invoquer ses relations avec les phases lunaires pour créer des phénomènes périodiques à trente jours d'intervalle, comme ceux attribués aux lunaisons. Les variations d'intensité des marées, variables avec l'âge de la lune, c'est-à-dire avec les coïncidences d'attraction du soleil et de la lune, sont assez faibles et influencent assez peu les agents atmosphériques pour que l'esprit se refuse à y trouver la cause de périodicité des influences lunaires. Tout au plus, les régions voisines des rivages des mers pourraient-elles subir un accroissement périodique dans l'humidité de leur atmosphère, déterminé par l'immersion périodique mensuelle d'une plage plus étendue sous les flots de la mer.

Avant d'abandonner le phénomène des marées, signalons encore une influence réelle de la lune sur notre

terre, que pourront seuls vérifier les descendants éloignés des arrière-petits-neveux de nos arrière-petits-neveux. C'est le ralentissement inévitable de la vitesse de rotation de la terre. La montagne d'eau sous laquelle tourne notre terre représente assez bien un frein dont l'énergie atteint une certaine valeur au moment où la lame de marée vient heurter le rivage et s'y briser avec violence. La terre tournera donc de moins en moins vite sur elle-même, jusqu'à ce qu'elle n'exécute qu'un seul tour pendant que la lune réalisera un de ses voyages autour d'elle dans l'intervalle d'une lunaison. Les jours auront alors sérieusement grandi, et tout un hémisphère de la terre sera pour jamais privé de la contemplation de l'astre de la nuit.

Marées atmosphériques. — Les marées de l'Océan intéressent peu la végétation qui s'étale à la surface de nos continents; les marées atmosphériques pourraient présenter plus d'intérêt si le mouvement créé de ce chef dans notre atmosphère se traduisait par d'énormes volumes d'air transportés soit à des niveaux différents, soit latéralement. Or, on peut estimer assez approximativement la colonne d'air soulevée par l'attraction de la lune sur notre atmosphère, en la comparant à celle qu'elle exerce sur les eaux de la mer.

Si la mer et l'atmosphère avaient même épaisseur et représentaient une nappe de même volume, les attractions exercées seraient proportionnelles aux masses de ces deux nappes, et comme l'air est 773 fois plus léger que l'eau, l'attraction serait 773 fois plus faible. La colonne d'eau qui ferait équilibre à cette attraction serait 773 fois plus faible que la hauteur maxima de la marée de nos grands océans, soit $10^m/773$. La colonne

d'air du même poids qui ferait équilibre à la même attraction serait 773 fois plus grande ; sa valeur serait donc $10^m : 773 \times 773 = 10$ mètres. Mais les mesures des géologues et des géographes établissent que la mer possède une profondeur moyenne de 4,000 mètres et comme, d'autre part, les mers recouvrent les 3/4 de la surface de notre globe, la masse liquide possède une épaisseur moyenne de 3,000 mètres.

D'autre part, la valeur de la pression atmosphérique indique que la hauteur de la colonne d'air supposée homogène qui presse à la surface de nos continents est de 7,987 mètres. La profondeur des océans est donc à la hauteur de l'atmosphère comme 3 est à 8. La valeur de la marée atmosphérique sera par suite les 8/3 de ce qu'elle aurait été à épaisseur égale; soit 8/3 de 10 mètres = 27 mètres au maximum. En tenant compte de diverses conditions qui exagèrent pour la mer la hauteur de la marée et qui n'existent pas dans le cas de l'atmosphère, on peut assigner un maximum de 20 mètres aux marées de l'atmosphère.

Les déplacements de la nappe atmosphérique sous l'influence de l'attraction lunaire se chiffrent donc par un petit nombre de mètres ; la pression résultant de l'accroissement de la hauteur de l'atmosphère serait assez rigoureusement compensée par l'attraction lunaire qui en diminue le poids ; et la végétation du globe reste sensiblement dans les mêmes conditions en dehors des marées atmosphériques ou pendant qu'elles atteignent leur maximum.

Le soulèvement de la couche d'air s'accompagne toutefois d'un déplacement en latitude dont l'importance se saisira facilement. En effet, quand la *déclinaison* de la lune est zéro, le sommet de la vague aérienne se

forme sur l'équateur. Sept jours plus tard, la crête de la vague se trouve à 18 ou 28 degrés au nord, puis redescend vers le sud, de telle sorte qu'une molécule d'air qui ne quitterait pas le sommet de la vague aérienne subirait dans 27 jours un double mouvement d'aller et retour du nord au sud. En réalité, la masse d'air ne subit qu'un bien faible déplacement ; le monticule d'air amassé par l'attraction lunaire se forme en chaque point aux dépens des couches les plus voisines ; il y a cependant un léger déplacement latéral, capable d'entraîner une masse d'air en mouvement qui coulerait plus ou moins parallèlement à l'équateur, sans être retenue par un lit bien défini qui s'opposerait à sa dérive.

Or il existe dans le voisinage des côtes de France une trajectoire allant du Sud-Ouest au Nord-Est, que suivent assez exactement dans leur marche les mouvements tourbillonnaires connus sous les noms de cyclones et de dépressions barométriques et auxquels sont associés en grande partie les pluies et les vents de notre région. Il suffirait que le lit de ce vaste courant s'éloigne de nous de quelques centaines de kilomètres vers le nord pour modifier assez complètement le climat de notre région. Il ne serait donc pas impossible que la lune, en remontant périodiquement vers le nord à 27 jours d'intervalle, entraînât avec elle le lit de ces courants aériens. Il pourrait se faire ainsi que les maxima de déclinaison lunaire coïncident avec les périodes de beau temps et les minima avec les périodes de mauvais temps.

Mais nous devons ajouter aussitôt : 1° que ces relations entre le déplacement de la trajectoire de nos dépressions pluvieuses n'ont pu jusqu'ici être nettement vérifiées par l'observation directe ; 2° que par cela même que les périodes de beau et de mauvais temps

seraient liées aux déclinaisons lunaires, elles ne pourraient l'être en même temps aux phases lunaires, comme l'exprime l'opinion des agriculteurs. En effet, tandisque l'intervalle de deux maxima de déclinaison est de 27 jours 7 heures 43 minutes, l'intervalle de deux phases lunaires semblables est de 29 jours 12 heures 44 minutes.

Les deux phénomènes, nouvelle lune et maximum de déclinaison boréale par exemple, ne peuvent se superposer, à deux jours près, que deux ou trois fois de suite dans le cours d'une année et sont, dans l'intervalle de douze mois, autant de fois en discordance qu'en concordance. Si la variation de la déclinaison lunaire exerce une influence réelle sur l'état de notre atmosphère, elle agirait exactement en sens inverse pendant les pleines lunes d'hiver et pendant les pleines lunes d'été, de telle sorte que les statistiques basées sur l'observation des phénomènes météorologiques observés en regard d'une phase déterminée de la lune ne signifient rien pour trancher la question des influences lunaires. Par cela même que l'observation donne zéro comme résultat, on serait aussi fondé à admettre une action réelle de la lune qu'à la supposer rigoureusement nulle.

M. Bouquet de la Grye, en discutant les nombreuses observations barométriques faites à Brest, a montré aussi que la pression barométrique variait avec la déclinaison de la lune. Toutefois, les différences observées atteignent à peine 1 ou 2 millimètres, alors que les variations dues aux accidents météorologiques atteignent 50 ou 60 millimètres. L'action exercée par des variations aussi minimes de pression ne peut être que très faible. M. de Parville a essayé de rattacher les phénomènes

météorologiques aux déclinaisons lunaires. Il a poursuivi ces observations pendant 20 ans et déclare avoir relevé assez nettement l'influence des déclinaisons lunaires sur la température, les vents régnants, la sécheresse et la pluie. Pour nos climats, le vent du sud serait plus fréquent et plus intense quand la déclinaison lunaire augmente; le vent du nord gagnerait au contraire en intensité pour les déclinaisons décroissantes.

Influence des lunaisons. — Les influences signalées par la statistique peuvent du reste n'être pas toujours bien fondées, surtout lorsqu'elles résultent d'un petit nombre d'années. Il suffit qu'il y ait eu une coïncidence fortuite des deux phénomènes à certaines dates de cette période pour que la coïncidence ne s'efface pas dans la moyenne obtenue. Une période de 10 ans ne paraît pas suffisante pour établir nettement les relations des phénomènes météorologiques avec les lunaisons.

C'est à cette remarque qu'il convient de rapporter sans doute les résultats peu concordants des divers observateurs qui ont pris soin de comparer la fréquence des pluies avec les diverses phases des lunaisons. Pris isolément, les résultats de chaque observateur semblent indiquer une loi quelquefois très nette; mais, comparés les uns avec les autres, ils démentent en général toute loi générale et en particulier la croyance assez généralement répandue que le temps change quand la lune renouvelle et que la pluie doit surtout être fréquente dans les premiers jours de la lunaison. Un dicton populaire veut encore que si «*la lune renouvelle en beau, quatre jours après il y ait de l'eau*». Mais que

si cette période critique est passée sans pluie, il fait beau pendant tout le reste de la lunaison.

La comparaison des observations poursuivies pendant 10 ans par Poitevin, à Montpellier, 1771; par Cotte, à Montmorency; par Pilgram, à Vienne, et Schübler, à Stuttgard, ne semble pas justifier cette opinion populaire.

Nombre de jours de pluie pour 100 jours d'une phase lunaire

	Poitevin.	Cotte.	Pilgram.	Schübler.
Nouvelle lune . . .	25	29	26	30.6
Premier octant. . .				30.6
Premier quartier. .	14	28	»	32.5
Deuxième octant . .				34.1
Pleine lune	20	39	29	33.7
Troisième octant. .				31.3
Dernier quartier . .	26	31	»	28.4
Quatrième octant. .				29.0

Si l'on fait la moyenne des jours de pluie, d'une part pour la nouvelle lune et le premier quartier, et d'autre part pour la pleine lune et le dernier quartier, on trouve, en moyennant les résultats de ces divers observateurs, que la première moitié de la lunaison est moins pluvieuse que la seconde dans le rapport de 26,4 à 29,4.

Les observations de M. de Gasparin, pour Paris et Orange, et ceux calculés pour Carlsruhe par M. Eisenlhor, ne conduisent pas à des conclusions plus précises sur les influences des lunaisons sur la pluie. «Il semble seulement résulter de leurs nombres, fait observer M. Marié Davy, qu'il pleut un peu moins entre le quatrième jour avant le dernier quartier et le quatrième

jour avant le premier quartier, qu'entre le quatrième jour après la nouvelle lune et le quatrième jour après la pleine lune ».

A Paris, la lune croissante apporterait un peu plus de pluie que la lune décroissante ; il en serait de même à Orange et à Carlsruhe. Mais l'écart ne serait pas de plus de 6 °/₀ à Paris et aurait certainement passé inaperçu si les opinions régnantes sur les influences lunaires n'étaient souvent puisées à d'autres sources qu'à celle d'une rigoureuse observation.

Arago, vers 1860, a mis en regard les quantités de pluie tombée pendant une période de 16 ans et les phases correspondantes de la lune ; il n'a pu relever aucune différence bien appréciable, à cela près qu'il semble tomber un peu plus d'eau du septième au quinzième jour de la lune que pendant le reste de la lunaison.

Nous empruntons au *Traité de météorologie agricole*, de MM. Canu et Larbaletrier, le relevé des principales opinions de l'action des lunaisons sur le temps, sans toutefois les conseiller en aucune manière comme bases d'une prévision :

1° Si le sixième jour de la lune est semblable au cinquième, le temps restera semblable, pendant toute la durée de la lune, onze fois sur douze. (Règle du maréchal Bugeaud).

2° Si le sixième jour de la lune ressemble au quatrième, le temps restera semblable pendant toute la durée de la lune. (Règle du maréchal Bugeaud).

3° Le temps de la lunaison est le même que celui du premier mardi de la lune. (Dicton).

4° Lorsque la lune est vieille de 4 jours et que le vent d'Ouest vient à souffler, il y aura du mauvais temps pendant toute cette lunaison.

5° Lorsque le vent est du Sud et que la lune n'est visible que la quatrième nuit, cela annonce beaucoup de pluie pour le mois. (*Maison rustique.*)

6° Lorsque les cornes de la lune sont pointues le quatrième jour, c'est du beau temps jusqu'à la pleine lune. (*Maison rustique.*)

7° Si la lune étant nouvelle et à son lever sa corne supérieure paraît noirâtre, on aura de la pluie au décours; si c'est la corne inférieure, il pleuvra avant la pleine lune; si la noirceur se rencontre au milieu du croissant, il pleuvra dans la pleine lune. (*Maison rustique.*)

Nous donnerons ultérieurement une explication plausible de l'influence des premiers jours de la lune sur le reste de la période de la lunaison. Le dicton N° 4 n'est en somme que l'affirmation très réelle des mauvais temps amenés par les vents d'Ouest sur une partie de la France. Il en est de même du dicton N° 5 qui indique que le vent du Sud est un vent pluvieux, si on le compare au vent du Nord. La remarque N° 6, relative aux cornes pointues annonçant le beau temps, s'explique par ce fait que si l'atmosphère est pure et transparente, c'est-à-dire dépourvue de vapeur d'eau et de pluie à brève échéance, le disque lunaire tranche nettement sur le fond du ciel et, au premier et au dernier quartier, les cornes du croissant sont effectivement très pointues. La remarque N° 7 traduit de même par la noirceur du disque lunaire la non transparence de l'atmosphère et la probabilité d'une pluie plus ou moins prochaine.

L'abbé Rosier écrivait, en 1785, dans son Dictionnaire de l'agriculture : « Rien ne prouve mieux l'in»fluence de la lune sur notre atmosphère et par consé»quent sur la terre que la belle application que M. l'abbé

›Toaldo a faite de cette période de 18 ans à la météoro-
›logie ; il a découvert, en comparant les observations
›météorologiques faites durant l'espace de 3 *Saros*, que
›les retours des saisons et de leurs météores étaient
›presque les mêmes, et qu'on peut presque annoncer
›leurs révolutions, c'est-à-dire la température, le chan-
›gement de temps, les pluies, l'abondance et la stéri-
›lité, etc., etc., en comparant les années ensemble de
›18 en 18 ans. Cette observation ingénieuse peut être
›d'un grand secours pour la campagne, lorsqu'après une
›longue suite d'années elle aura été confirmée. »

Mais les seuls résultats d'observations scientifiques qui affirment l'action de la lune sur la météorologie de notre globe sont en opposition directe avec l'opinion, généralement assez répandue, « que la pluie et le beau temps dépendent des phases de la lune.»

Virgile, dans ses Géorgiques (livre I), après avoir indiqué la marche rationnelle des travaux de l'agriculteur dans le cours de l'année et insisté sur l'application de la maxime :«Faire chaque chose en son temps», ajoute que néanmoins la lune peut donner un autre ordre à l'enchaînement annuel des travaux en déterminant des jours particulièrement favorables à leur réussite. Le *cinquième* jour de la lune est funeste; évitez-le, ajoute le poète, qui en donne aussitôt la raison, car c'est en ce jour que naquirent Orcus, les Euménides et les Titans révoltés contre l'Olympe. Le *septième* jour, et surtout le *dixième*, est favorable pour dompter les jeunes taureaux et pour planter la vigne. Le *neuvième* jour est propice au fugitif et redouté des voleurs, sans doute parce que la lune commence à briller avec éclat dès le premier quartier.

Virgile semble se repentir d'avoir tant accordé aux in-

fluences lunaires et recommande aussitôt de bien choisir les heures de la journée plus spécialement favorables aux divers travaux, et l'on voit sans peine que, dans sa pensée, le soleil et la rosée présentent autant d'importance que l'observation des phases lunaires.

Un peu plus loin, dans le cours du même poème, Virgile revient à la lune et à son influence météorologique. «Lorsque la lune reprend les premiers feux qui » lui font retour, c'est-à-dire peu de jours après la » nouvelle lune,

> » Si son croissant terni s'émousse dans les airs,
> » La pluie alors menace et la terre et les mers.
>
> DELILLE.

» Mais si la rougeur lui monte au visage, le vent ne » tardera pas à souffler ; la lune d'or rougit toujours au » souffle du vent. Si, au contraire, à son quatrième » lever (ce présage est très certain), la lune s'avance » pure et avec des cornes non émoussées, ce jour et » ceux qui le suivront jusqu'à la fin du mois seront » exempts de vent et de pluie.»

L'agriculture avait donc admis, dès l'époque romaine, l'influence de la lune sur le succès des opérations agricoles et reconnu certains pronostics que l'on pouvait tirer de son observation pour la prévision du temps. Si nous nous adressons à une époque plus rapprochée de notre siècle, nous retrouverons ces mêmes influences lunaires, plus discutées peut-être, mais tout aussi enracinées et plus nombreuses que chez les Romains. Les *Instructions pour les jardins fruitiers et potagers*, de La Quintinie, directeur de tous les jardins fruitiers et potagers du Roy, publiées en 1690, se terminent par un dernier chapitre intitulé :

« *Réflexions sur les décours, pleines lunes, etc....*

«Disons maintenant ce que nous pensons touchant »les décours et les pleines lunes dont nos pauvres »jardiniers paraissent si persuadés... Ils prétendent »que, suivant la doctrine du temps passé, tout ven»dredy porte décours et surtout que le jour du grand »vendredy porte bonheur pour toutes les semences; »en sorte que semant ce jour-là celles de qui l'on »veut avoir bientôt du fruit, elles le donnent à point »nommé, comme les melons, les concombres, les »pois, etc., et aussi semant le même jour celles qui, »selon leurs souhaits, ne devraient pas monter si tôt »en graines, par exemple toute sorte de plantes pota»gères, choux, laitues, oseilles, etc., il semble qu'elles »s'arrêtent comme par un profond respect qu'elles »rendent au jour qu'on les a mises à terre, pendant »que tout ce qui a été semé à d'autres quartiers de »lune vient à rebours de toutes les intentions du jar»dinier.

.... » Ni les plants, ni les greffes, ni la taille ne réus»sissent point à donner bientôt du fruit si on ne les a »fait en décours, en sorte que d'autant de jours, disent»ils, qu'en tous ces ouvrages on approche du dernier »de la lune, d'autant d'années avance-t-on pour faire »donner plus tôt du fruit.

» Ils ajoutent même, ces bonnes gens, que ce qui »fait que quelques arbres sont si longtemps à donner »du fruit n'est autre chose que d'avoir été ou plan»tés, ou taillés, ou greffés en *Croissant* ou en *Pleine* »*lune*, et soutiennent que c'est une expérience infailli»ble et qui ne peut être disputée, à moins que de vou»loir contredire tout ce qu'il y a de mieux établi dans le »monde.»

M. G. Tissandier a relevé en 1887, dans un vieil

almanach du XVII^e siècle intitulé *Almanach ou Calendrier pour l'année mil six cent quatre-vingt-treize*, diverses opinions intéressantes sur les actions attribuées à la lune.

D'après l'auteur de l'almanach, la lune dans la constellation du Taureau est bonne pour se «pourmener, prendre, recevoir, acquérir, contracter, cultiver, bastir, faire alliances et amitiez, et pour se faire saigner et purger pour la mélancolie ».

La lune dans la constellation des Balances est propre à faire « voyage, changer de demeure et de vêtements, etc. »

L'abbé Rosier, dans son Dictionnaire de l'agriculture, publié en 1785, t. VI, signale l'opinion assez généralement répandue que tel quantième de la lune influe sur la *conservation du bois* coupé, et la coutume généralement adoptée dans le pays de vignobles de soutirer les vins pendant la pleine lune de mars. « Il faudrait, »ajoute l'abbé Rosier, écrire des volumes entiers si l'on »voulait rapporter toutes les idées fausses ou les opéra»tions que l'on soumet à la marche de la lune. »

On trouve signalée dans le même Dictionnaire la croyance des vétérinaires en l'action de la lune comme cause déterminante de la fluxion périodique des yeux chez le cheval. La dénomination de *chevaux lunatiques* doit son existence à ceux qui ont imaginé que, sur le déclin de la lune, il découlait de cet astre une vertu secrète qui troublait et chargeait la vue du cheval.

Arrivons au XIX^me siècle et interrogeons les agriculteurs des divers départements français. Nous en trouverons un certain nombre de sceptiques, plusieurs incertains, mais un plus grand nombre pleinement convaincus du rôle essentiel de la lune sur le rendement

des récoltes. Quelques-unes de ces opinions sont tenues pour douteuses par les uns, reniées par les autres, mais un certain nombre ont force de loi et sont généralement respectées par tout pays. Nous présenterons ici, en les classant par nature d'opérations agricoles, les diverses opinions qui règnent dans quatre départements français assez éloignés les uns des autres, pour que l'on puisse se convaincre de l'identité des opinions régnantes sur les influences lunaires concernant une même opération agricole.

SEMAILLES ET PLANTATIONS

Isère

Renseignements transmis par M. G. Houdaille, agriculteur à Saint-Prim (Isère), et communiqués par MM. Lardière et P. Gayvallet, agriculteurs de la même commune.

1° On ne doit jamais semer le blé à la lune nouvelle jusqu'au 5^{me} ou au 6^{me} jour.

2° Les plantes telles que les salades, les betteraves et toutes les plantes qui pomment soit dans la terre, soit à fleur de terre, ne pomment pas, mais montent en graines quand on les sème ou qu'on les pique à la lune nouvelle.

3° Les pommes de terre semées à la lune nouvelle poussent biscornues et la vigueur de la plante se porte dans les fanes au préjudice des tubercules.

4° Il faut, au contraire, semer les graines pour fourrages, telles que trèfle, sainfoin et luzerne, à la lune nouvelle. Il faut aussi semer les pois et les haricots à la

lune nouvelle si l'on veut qu'ils fleurissent plus d'une fois.

5° Si on veut faire doubler des fleurs récoltées simples, il faut semer et repiquer quand la lune est au plein, et les fleurs se doublent d'autant plus que l'on se rapproche davantage de l'heure où la lune est à son plein. Il faut cependant éviter de semer quand la lune est au feu et quelques minutes avant ou après. Sans cette précaution, la graine est brûlée et ne lève pas.

Lozère

Renseignements transmis par M. Caille, professeur à la ferme-école de Recoulettes (Lozère), et communiqués par MM. Mézy et Barlet, agriculteurs dans la même commune.

1° On doit semer les céréales après le premier quartier de la lune et avant le quatrième. Trop tôt, la germination serait parfaite, mais on obtiendrait plus de paille que de grain; trop tard, la germination s'effectue mal et la paille produite est en faible quantité.

2° On doit semer les pois, les haricots, les fèves, pendant que la lune est nouvelle, mais si on le peut, après le premier quartier. Trop tard, c'est-à-dire avec la lune vieille, ces légumes cuisent très difficilement. A la lune trop nouvelle, les fruits sont plus abondants, mais restent plus petits.

3° Il faut semer les pommes de terre à la lune vieille, pendant le troisième quartier; les tubercules sont alors plus gros. Semées à la lune nouvelle, les pommes de terre donnent beaucoup de fanes et peu de tubercules.

4° Il faut semer les carottes, salades, betteraves, à la lune vieille, afin qu'elles ne montent pas en graine.

5° Si l'on plante l'ail huit jours avant la pleine lune ou

huit jours après, on obtient 8 cayeux. Le nombre de cayeux diminue quand on se rapproche de la pleine lune.

Tarn-et-Garonne

Renseignements transmis par M. de Coste, propriétaire à Labastide-du-Temple (Tarn-et-Garonne)

1° On sème en vieille lune les graines des plantes que l'on veut récolter pour la graine, on sème en nouvelle lune les graines pour fourrage. Le maïs que l'on doit faire consommer en vert se sème à la nouvelle lune; le maïs qui est destiné à la graine se sème en lune vieille.

2° Les fèves sont semées à la vieille lune de septembre; néanmoins, plusieurs agriculteurs préfèrent la date du 13 octobre, jour d'une grande foire à Montauban.

3° Les haricots ont une végétation luxuriante quand on les sème en lune nouvelle.

4° Les pommes de terre semées en pleine lune donnent des tubercules plus ronds qu'à toute autre époque de la lunaison.

Yonne

Renseignements transmis par M. G. Barbut, professeur à l'École pratique d'agriculture d'Auxerre, et recueillis dans diverses communes du département.

1° On sème les céréales un peu à tous les jours de la lune. On évite néanmoins de semer en général quand la lune est trop nouvelle ou trop vieille. Il faut qu'il y ait de la lune au moment des semailles.

2° Si on sème en nouvelle lune les pommes de terre, les raves et en général toutes les plantes à racines comestibles, on obtient des feuilles en abondance, mais

les tubercules ou les racines restent toujours petits et refusent de grossir. Si, au contraire, on sème en vieille lune, on n'obtient que peu de feuilles, mais en retour, les racines et tubercules sont très développés.

3° Les salades semées en nouvelle lune montent très facilement en graines.

4° Les haricots semés en nouvelle lune ont des tiges élevées et fleurissent tard.

5° Les melons semés en nouvelle lune sont d'une levée plus précoce, mais se mettent peu à fruit.

TAILLE DES ARBRES ET DES ARBUSTES

Isère

1° On taille les vignes à raisins blancs à la lune nouvelle, et les vignes à raisins noirs à la lune vieille.

2° Les bois tendres, tels que les peupliers, les saules, les aulnes, les acacias et en général tous les bois blancs, se coupent à la lune nouvelle si on veut les employer comme bois d'œuvre. Les bois durs, tels que le châtaignier, le chêne, le hêtre, se coupent en lune vieille.

Lozère

1° On doit couper les arbres verts (résineux) à la lune nouvelle, et les arbres feuillus à la lune vieille, et, si on le peut, par le vent du nord. Sans ces précautions, le bois coupé ne saurait se conserver.

2° On taille la vigne à la lune vieille pour avoir des raisins. La vigne taillée à la lune nouvelle produit beaucoup de bois et peu de fruit.

3° On doit émonder les arbres tels que le peuplier, le

frêne, l'aulne à la lune nouvelle. Coupées pendant la lune dure (lune vieille), les branches ne poussent pas.

4° On taille les poiriers et les pommiers après le premier quartier, mais avant la pleine lune. Dans ces conditions, les arbres repoussent et se mettent à fruit.

Tarn-et-Garonne

1° Les nouvelles pousses des arbres émondés à la nouvelle lune sont plus droites que celles des arbres qui le sont en vieille lune. Dans ce dernier cas, elles sont très fourchues, mais le bois en est moins vermoulu.

2° On taille la vigne pendant la vieille lune de janvier.

3° L'herbe coupée en lune nouvelle repousse plus vite que coupée en vieille lune. La luzerne doit au contraire se couper en vieille lune afin d'éviter les ravages du négril.

Yonne

Tout le monde est d'accord pour ne pas tailler la vigne quand la lune n'est pas suffisamment visible, c'est-à-dire en lune trop nouvelle ou trop vieille. Le cep taillé dans cette mauvaise période de la lunaison perd de sa vigueur, les bourgeons se développent mal, se mettent moins à fruit et les fruits n'atteignent jamais leur volume ordinaire.

INFLUENCES LUNAIRES DIVERSES

Isère

1° Quand on tue un porc pendant la lune croissante, les morceaux grossissent dans la marmite; ils diminuent si l'animal a été tué à la lune décroissante.

2° Les poussins, les canards et les dindons, qui éclosent à la lune nouvelle, réussissent généralement mieux. Quand ils éclosent à la lune vieille, ils ont de la peine à casser leur coquille, cette difficulté embarrasse surtout les canards. Les animaux qui naissent à la lune nouvelle sont en général de meilleure venue.

3° Les greffes se soudent mieux à la lune nouvelle qu'à la lune vieille.

4° On doit soutirer les vins à la lune vieille.

5° On doit préparer le fumier à la lune nouvelle; il refuse de fermenter à la lune vieille.

Lozère

1° On doit faire l'huile de noix par un temps doux et pendant la nouvelle lune (après le premier quartier). Les noix rendent alors davantage.

2° On ne doit jamais tuer un porc à la lune nouvelle, car la viande diminue dans la marmite et fait beaucoup moins de profit.

Tarn-et-Garonne

1° Les porcs ne doivent être tués qu'en lune vieille ; en lune nouvelle il serait à craindre que les vers ne s'y mettent.

2° Le soutirage des vins se fait en vieille lune et par le vent du nord.

3° L'éclosion des poussins en nouvelle lune est fort difficile ; en pleine lune, l'œuf est trop plein et le poussin est étouffé; en vieille lune, l'éclosion est plus rapide avec prédominance des mâles sur les femelles.

4° On recommande de ne jamais se marier pendant la pleine lune, sous peine d'avoir des enfants au visage difforme.

Yonne

1° Quand on provigne un sarment en lune trop nouvelle ou trop vieille, le sarment mis en terre ne grossit pas et reste tel que lorsqu'on l'a couché. La partie aérienne du même sarment se développe comme les ceps non provignés. Il y a disproportion entre la partie souterraine et la partie aérienne du nouveau cep ainsi obtenu.

2° Il ne faut jamais fumer la vigne en lune trop nouvelle ou trop vieille. Le fumier enterré pendant cette période ne se consommerait pas dans l'année.

Telles sont les diverses croyances qui subsistaient encore en 1888, chez un bon nombre de nos cultivateurs français, et que la pratique culturale respecte avec beaucoup plus de rigueur que les enseignements mo-

dernes de nos professeurs départementaux d'agriculture. Quelle est la part de vérité qui doit être accordée à ces opinions fort anciennes et partant toujours respectables? Quelle est l'origine de la part d'erreur qui leur est attachée, comme à beaucoup de remarques faites à une époque où les notions scientifiques réduites ne permettaient pas un contrôle rigoureux des observations recueillies par la pratique ?

Parmi les observations pratiques que les agriculteurs se transmettent de père en fils, en leur assurant une invariabilité remarquable à travers le cours des siècles par leur impression sous forme de dictons populaires, il en est qui traduisent des faits parfaitement exacts dont la science se borne à constater la rigueur ; il en est aussi qui traduisent un fait réel, mais dont l'interprétation est reconnue ultérieurement fautive par les investigations scientifiques modernes ; enfin il en est d'autres établis par une simple association d'idées et dont l'erreur se dévoile au plus simple raisonnement. De ce nombre est, par exemple, l'application des racines de diverses plantes préconisées comme remède de diverses maladies, à cause de la ressemblance de forme que présentent les organes de ces plantes avec les organes sièges de la maladie. Bon nombre de propriétés médicales attribuées par le moyen âge à diverses plantes n'ont pas d'autre explication. De ce nombre encore est le préjugé de la serpentine, silicate de magnésie naturel, employée jadis contre la morsure des serpents, à cause des taches que présente ce minéral et qui lui donne vaguement l'aspect de la peau de certains serpents.

Cette association d'idées arbitraire, qui fait attribuer à un médicament les propriétés d'action comparable à

ses qualités de constitution, se révèle clairement dans l'exposé des présomptions suivantes formulées par l'auteur déjà cité de l'Almanach de 1693, en ce qui concerne l'application des bains.

«Pour les bains, il faut voir, en premier lieu, si on désire se baigner pour la santé ou seulement pour la netteté du corps : car, soit pour l'un, soit pour l'autre, les jours que nous avons dit être bons pour la saignée sont généralement bons pour les bains. Que si quelqu'un désire d'entrer dans les bains seulement pour la *netteté*, il faut qu'il le fasse quand la lune est dans la *Balance* ou dans les *Poissons*. Que si on le fait pour quelque indisposition, par exemple pour *corriger* une *trop grande humidité*, il faut que la lune soit dans les signes *ignés*, comme le Bélier, et en bon aspect de Mars et du *Soleil;* si c'est pour *s'humecter*, comme font les personnes phtisiques et maigres, il faut que la lune soit dans des signes *aqueux :* le Cancer, le Scorpion ou les Poissons.»

On saisira facilement le rapprochement fait par l'auteur entre la sécheresse et l'humidité des constellations et les corrections d'humidité et de sécheresse qu'il se propose d'infliger à ses malades.

De même, si l'on examine avec attention quelques-unes des opinions signalées par les agriculteurs touchant les influences des lunaisons, on en trouve un certain nombre qui montrent presque à l'évidence une origine analogue. Remarquons d'abord que la lune *nouvelle* est aussi appelée lune *tendre*, et la lune *vieille*, lune *dure*, coriace. La nouvelle lune personnifie la jeunesse, la vigueur, et par suite la végétation exagérée, luxuriante. La lune vieille, au contraire, personnifie l'âge adulte, l'âge mûr, où l'animal et le végétal donnent leurs fruits. Il est par suite naturel que l'on ait adopté la nouvelle

lune pour présider aux semailles des graines destinées à donner surtout une végétation abondante, comme les fourrages, et la lune vieille, au contraire, pour les semailles destinées à donner des graines comme production principale. Nous avons vu que le maïs-fourrage se semait en lune nouvelle, et le maïs à graine en lune vieille.

Pour la même raison, on taillera à la lune nouvelle les arbres qui doivent donner des repousses ; on élaguera en lune nouvelle les peupliers, les hêtres et les frênes. On taillera, au contraire, en lune vieille, les arbres que l'on veut mettre à fruit. La vigne taillée à la lune nouvelle s'emportera en bois ; taillée à la lune vieille, elle se couvrira de raisins.

La lune vieille est coriace et dure ; elle empêchera le poussin de briser la coquille de son œuf. A l'époque de pleine lune, l'œuf est *à fortiori* plein comme un « œuf » ; le poussin en sera inévitablement étouffé. Enfin, s'il n'est pas agréable d'avoir un visage *comme la lune*, on recommandera de ne pas choisir pour la date de son mariage l'époque de la pleine lune. En somme, la lune se rendra coupable de pas mal de délits, et il n'est que juste que l'on ait imaginé en guise de compensation, la meilleure de toutes les lunes, la « lune de miel ».

Si plusieurs des opinions émises par les agriculteurs concernant les influences lunaires ne peuvent recevoir jusqu'ici aucune explication scientifique et se révèlent comme le fruit d'un pur enfantement de l'association des idées, il semble qu'on ait dû relever bien des contradictions entre les faits observés et les indications de ces préjugés. Il n'en est rien cependant, car notre esprit, en admettant entre deux faits une relation déterminée, voit en général bien mieux les faits qui la

ent que ceux qui la réprouvent. De même s'il y
dans les chances de réussite ou de non-réussite
pération agricole, alors même que le résultat de
vation devrait indiquer la nullité de l'influence
présumée, le résultat de l'observation consignée
otre esprit pencherait, même à notre insu, en
de l'idée préconçue.

e idée préconçue se réalise assez souvent en dépit
de l'opposition des faits observés. Pour qu'il en
autrement, il faudrait refaire à neuf le cerveau et
rit humain. On ne peut donc logiquement deman-
ux agriculteurs convaincus de la vérité des influen-
des lunaisons la démonstration de cette relation.
résultats obtenus risqueraient d'autant plus d'être
que la démonstration est assez délicate. Tout le
nde sait combien la germination de certaines graines
influencée par des causes insignifiantes au premier
ord. La température du sol au moment de la semaille,
narche de sa dessiccation dans les jours qui la suivent,
terminent en grande partie le succès de l'opération.
n'est pas rare de voir, dans la région du sud-est de
France, la même pièce de terre ensemencée de sar-
asin, pendant les chaleurs du mois d'août, à trois
u quatre heures d'intervalle, se révéler ultérieure-
nent avec des différences si tranchées dans la germi-
nation que l'on y saisit la limite exacte de la semaille du
matin et de celle du soir.

On ne peut donc conclure de ce que la même graine semée en nouvelle lune, en pleine lune ou en vieille lune, c'est-à-dire à 15 ou 30 jours d'intervalle, a donné des résultats bien différents, que la lunaison soit pour quelque chose dans le résultat observé. L'expérience, pour être concluante, doit être répétée un très grand

nombre de fois, en intervertissant l'ordre de progression des lunaisons et les dates de l'année. Sans cette précaution, un meilleur résultat des semailles en vieille lune qu'en nouvelle lune indiquerait simplement qu'il vaut mieux, en général, semer plus tard que trop tôt.

Ce n'est pas à dire néanmoins que les assertions des agriculteurs convaincus de l'influence des lunaisons n'aient jamais amené quelques récriminations formulées au nom de l'expérimentation longtemps prolongée. Nous avons vu Virgile accorder autant au soleil et à la rosée qu'aux phases lunaires. La Quintinie, directeur de tous les jardins fruitiers et potagers du roy, s'inscrit en faux avec une grande énergie contre les opinions des jardiniers sur les pleines lunes et les décours. «A »l'égard de la chose, écrivait-il en 1690, je proteste de »bonne foi que, pendant plus de trente ans, j'ai eu des »applications infinies pour remarquer au vrai si toutes »les lunaisons devaient être de quelque considération »en jardinage, afin de suivre exactement un usage que »je trouvais établi, s'il me paraissait bon; mais qu'au »bout du compte, tout ce que j'ai appris par mes obser»vations longues et fréquentes, exactes et sincères, a »été que ces décours ne sont simplement que de vieux »dires de jardiniers malhabiles; ils ont cru par là non »seulement mettre à couvert leur ignorance à l'égard »des points principaux du jardinage, mais en même »temps ils ont espéré de s'acquérir par ce jargon quelque »croyance auprès des honnêtes gens qui n'entendent »rien en agriculture..... Et tout de même semez et »plantez toutes sortes de graines et de plants en quelque »quartier de la lune que ce soit, je vous réponds d'un »succès égal de vos semences et de vos plantes, pourvu »que votre terre soit bonne et bien préparée, que vos

»plants et vos semences ne soient point défectueux et »que la saison ne s'y oppose pas. Le premier jour de la »lune comme le dernier sont entièrement favorables à »cet égard; chacun le peut éprouver par lui-même et »me condamner ensuite comme un imposteur si j'avance »ici une doctrine fausse, mauvaise et pour ainsi dire »hérétique.»

La Quintinie fait en outre malicieusement remarquer l'embarras dans lequel doit se trouver la lune quand les jardiniers demandent à un même quartier de faire monter en graine certaines plantes et d'empêcher les autres d'y monter.

L'abbé Rosier fait aussi remarquer l'incertitude qui règne dans les préjugés courants sur le quartier le plus favorable à la taille des bois. Les uns préfèrent le premier quartier. les autres la pleine lune, les autres enfin la lune vieille. « Choisissez, dit-il, autant que vous le »pourrez, un temps sec, un vent du nord qui ait régné »depuis quelque temps et qui ait resserré la fibre du »bois, je réponds que, toutes circonstances égales, il »chironnera moins que tel autre bois coupé en nouvelle, »pleine ou vieille lune, si le temps est mou, humide ou »pluvieux. »

La recommandation de soutirer les vins *à la pleine lune de mars* rappelle l'époque moyenne à laquelle il convient d'exécuter le soutirage. Mais il eût été beaucoup plus logique de prendre pour règle de soutirer les vins au 7 avril, attendu que la date de la pleine lune de mars peut varier depuis le 22 mars jusqu'au 25 avril. On appelle en effet lune de mars celle qui fixe la fête de Pâques; or, cette fête est toujours le premier dimanche après la pleine lune et après l'équinoxe de printemps. L'abbé Rosier fait remarquer avec raison qu'au lieu de

laisser, par ce préjugé courant, un mois de latitude aux vignerons pour le soutirage de leurs vins, il serait plus raisonnable d'assigner une date fixe, mais spéciale, pour chaque vignoble français. Le préjugé du soutirage en pleine lune de mars a donc un fonds de vérité ; il engage le vigneron à soutirer les vins avant que l'élévation de la température du printemps remette en activité les ferments nuisibles contenus dans les lies. Le préjugé; dépouillé de sa fausse interprétation, devient une opinion respectable sanctionnée par la pratique, à moins que l'expérience ultérieure, mieux conduite, n'indique que sous une autre latitude il est préférable de soutirer les vins à une autre époque de l'année. « Soutirez les vins, »dit l'abbé Rosier, lorsque le vent du nord et le froid »règnent, sans faire attention au quantième de la lune, «et vous aurez une liqueur qui se conservera et qui »perdra très peu de ses principes. »

La croyance aux présages lunaires, tels que celui rappelé par le proverbe: «Quand la lune renouvelle en beau, quatre jours après il y a de l'eau», laisse quelque hésitation dans l'esprit quand on lui cherche une explication acceptable. Mais l'opinion de Virgile, que «si le quatrième jour la lune brille dans un ciel pur, il fera beau temps tous le mois», permet de proposer l'explication suivante :

Le proverbe de nos agriculteurs ne serait que la croyance en l'instabilité du beau temps ; instabilité qui se vérifie, on le sait, le plus grand nombre de fois. Après la pluie le beau temps, et après le beau temps la pluie. Mais on sait aussi que si le beau temps persiste avec fixité un certain nombre de jours, on a quelque chance de le voir s'établir en régime permanent pendant une plus longue période. Si donc, au quatrième jour, le

temps est toujours beau, malgré la menace du quatrième jour, il y en aura pour un mois environ. Le préjugé rapporté plus haut reposerait, on le voit, sur deux faits essentiels : 1° variabilité du beau temps lorsque les changements de temps procèdent par petites périodes; 2° fixité du beau temps quand le régime des vents froids et secs s'est définitivement établi.

Si enfin nous questionnons les agriculteurs contemporains, les uns nous répondront : «Je ne crois pas à l'action de la lune ; mais j'ai essayé de semer aux divers quartiers, et j'ai été forcé de reconnaître la vérité des assertions des cultivateurs : aujourd'hui mon opinion est faite.» Les autres répondent, au contraire : «J'ai voulu avoir raison des préjugés lunaires, j'ai semé à tous les jours de la lunaison et je n'ai pas observé de différence dans la germination : mon opinion est faite.» En fait, ces deux résultats contradictoires d'observations m'ayant été fournis par des cultivateurs également sérieux et présentant toutes les qualités requises pour constituer de bons observateurs, je dois déclarer ici que l'expérience des uns et des autres ne me paraît pas entièrement décisive. Obéissant à un principe de saine philosophie qui veut qu'on ne rejette aucune vérité, alors même qu'on n'en saisit pas le pourquoi au moment où elle se présente à l'esprit, nous engageons les cultivateurs qui s'intéressent à l'action des lunaisons à entreprendre de nouvelles expériences qui, pour être décisives, devraient satisfaire aux conditions suivantes :

1° Répéter les expériences pendant plusieurs années successives ;

2° Les faire porter sur des graines de plantes différentes par la nature de leurs productions ;

3° Inverser chaque année l'époque des semis destinés à mettre en évidence l'influence des phases lunaires successives ;

4° Etudier séparément l'influence des *phases lunaires* et des *déclinaisons*, afin de ne pas attribuer aux unes les résultats qui pourraient être déterminés par les autres ;

5° Observer avec la plus grande impartialité, se défiant de soi-même et des erreurs d'observation entraînées par une idée préconçue.

L'indication des phases lunaires est consignée dans les calendriers. La valeur des déclinaisons de la lune aux divers jours de l'année est rapportée dans le recueil de la Connaissance des temps, publié chaque année par le Bureau des longitudes.

Telles sont les principales lignes de cette intéressante question des *influences lunaires*. Nous n'avons pas eu la prétention d'entamer, en les esquissant rapidement, les opinions qui ont traversé plusieurs siècles en se transmettant fidèlement de père en fils comme un héritage précieux de la pratique et de l'expérience agricole. Nous avons seulement voulu montrer que les idées émises sur les influences lunaires n'étaient pas à l'abri de tout contrôle et que les données de l'astronomie aussi bien que l'expérimentation scientifique se recommandaient également à l'attention des agriculteurs dont l'opinion n'est pas encore entièrement faite sur l'action que la lune peut exercer sur la réussite de nos opérations agricoles.

BIBLIOGRAPHIE

Delaunay. — Cours élémentaire d'astronomie.
Flammarion. — Les terres du ciel.
Marié Davy. — Météorologie agricole.
Lecouturier et **Chapuis.** — La lune, description et topographie.
Annuaire du Bureau des longitudes. — Heures des levers et couchers de la lune.
Connaissance des temps. — Déclinaisons de la lune.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Le soleil est un globe de feu dont les nuages incandescents rayonnent incessamment vers nous des torrents de *chaleur*, de *lumière* et d'*énergie chimique*.

Les *mouvements astronomiques* qui emportent notre Terre dans sa course annuelle autour de l'astre central, les modifications irrégulières ou périodiques que subit la *transparence* de notre atmosphère, font varier; entre de très larges limites, les quantités d'énergie dont les plantes et les animaux peuvent bénéficier à chaque instant du jour et de l'année.

Les *radiations du soleil* reçues à la surface du sol se transforment en rayons de *chaleur obscure*, et le niveau de cet état d'équilibre (*température*), perpétuellement variable, qui s'établit entre le gain et la perte de chaleur dont la terre est l'objet, exerce une action prépondérante sur le développement des organismes végétaux et animaux.

Retenir la chaleur du soleil à la surface de notre globe, *prévenir sa dissipation trop rapide* par le rayonnement nocturne, est, dans bien des circonstances, une des visées pratiques de l'agriculteur.

Le mécanisme intime des relations du soleil avec la végétation présente le plus grand intérêt, et c'est en partie pour l'avoir méconnu que l'on a cherché jusque

dans la lune les raisons d'être de certains phénomènes qui s'expliquent plus naturellement par le jeu régulier des forces physiques que par les secrets agissements des *influences lunaires*.

On a coutume de dire, et avec raison, que «tant vaut le sol tant vaut la moisson, et que sans engrais il n'y a pas de récoltes». Nous n'avons pas eu un seul instant la pensée de contredire à ces axiomes de l'expérience agricole, mais nous croyons que le soleil devrait, lui aussi, avoir une place privilégiée dans la reconnaissance des agriculteurs. Notre désir, en écrivant ce livre, a été de contribuer à lui faire cette place ; l'avenir nous apprendra si nous y avons réussi ; mais nous serions heureux d'avoir écrit ces lignes, et notre but nous semblerait atteint, si nous avions pu attirer les sympathies des agriculteurs vers la météorologie agricole en la définissant non pas, « l'Art difficile et périlleux de connaître le *temps qu'il fera* », mais la « Science modeste et pratique de bien interpréter le *temps qu'il fait* ».

Noms de MM. les Constructeurs des instruments décrits dans cet ouvrage

	Constructeurs
Chronomètre solaire de Fléchet	MM. Ducretet.
Lunette astronomique	Pellin.
Spectroscope.	Pellin, Ducretet.
Actinomètre enregistreur Crova.	Pellin.
Actinomètre de Crova	Ducretet, Pellin.
Actinomètre Arago-Davy	Chabaud.
Spectrophotomètre de Crova.	Ducretet.
Polarimètre de Cornu	Pellin.
Thermomètres à alcool et à mercure. .	Baudin, Tonnelot.
Thermomètre du sol.	Rousseau.
Thermomètre enregistreur.	Richard, Rédier.
Thermomètres avertisseurs.	Eon, Lemaire-Fournier, Richard.
Paragelée Héguilus	Héguilus.
Foyers résineux pour nuages artificiels.	Lestout.
Thermomètre Piquet	Eon.
Appareil solaire Mouchot	Pifre.
Appareil solaire à ammoniaque	Ch. Tellier.
Serres et châssis.	A. Michaux.

Adresses de MM. les Constructeurs

MM. DUCRETET, 75, rue Claude-Bernard, Paris.
PELLIN, ancienne maison DUBOSQ, rue de l'Odéon, Paris.
CHABAUD, ancienne maison ALVERGNIAT, rue de la Sorbonne. Paris.
BAUDIN, 273, rue Saint-Jacques, Paris.
TONNELOT, 25, rue du Sommerard.
ROUSSEAU, 42, rue des Ecoles, Paris.
RICHARD, 8, impasse Fessart, Paris.
RÉDIER, G. MEYER successeur, 8, passage des Petites-Ecuries. Paris.
EON, 13, rue des Boulangers, Paris.
LEMAIRE-FOURNIER (A.), ingénieur-constructeur à Paris.
HÉGUILUS, électricien à Aniane (Hérault).
LESTOUT, place Belcier, Bordeaux.
PIFRE, ingénieur civil, 63, avenue Friedland, Paris.
TELLIER, ingénieur, 20, rue Félicien-David, Auteuil (Paris).
MICHAUX, 81, avenue de Courbevoie, Asnières (Seine).

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

PAGES

AVANT-PROPOS 5

CHAPITRE Ier

CE QU'IL Y A DANS LE SOLEIL. — LEQUEL MARCHE DES DEUX, DE LA TERRE OU DU SOLEIL? — OÙ VONT-ILS?

Les enveloppes du soleil 12
Grandeur comparée de la terre et du soleil 14
Les taches du soleil 16
Mouvements astronomiques de la terre 22
Les saisons 26
Les jours et les nuits 30
Le calendrier 35
Périodes astronomiques 39
Les cadrans solaires 41
Les planètes 46
Les comètes 51
Les étoiles 54
Bibliographie du chapitre Ier 58

CHAPITRE II

CE QUI NOUS VIENT DU SOLEIL

Les ondulations de l'éther 59
La chaleur du soleil 61
L'unité de mesure pour la chaleur, la calorie 63

Epaisseur et transparence de l'atmosphère 64
Marche diurne et annuelle de la chaleur solaire 66
Pyrhéliomètre, actinomètre 68
Actinomètre enregistreur de Crova 71
Constante solaire 74
Etalement des rayons obliques sur le sol 77
Chaleur reçue par le sol 79
Réduction par les nuages de la durée de l'insolation 80
Héliographe de Campbell 81
Inscripteur solaire de Jordan 82
Marche annuelle de la chaleur reçue par le sol 83
La lumière du soleil 84
Méthodes adoptées pour la classification des couleurs 85
Longueurs d'ondulation des lumières simples 87
Raies d'absorption 88
Gamme chromatique de Chevreul 92
Spectre prismatique et spectre de diffraction 96
Constitution de l'œil 98
Superposition des impressions lumineuses dans la rétine . . . 101
Teintes complémentaires 103
Irradiation 105
Mesure de la lumière : photomètres 108
Actinomètre à thermomètres conjugués 111
Degré actinométrique 113
Actinomètre enregistreur Richard 114
Distribution diurne de la lumière 115
Le bleu du ciel 118
Polarisation de la lumière du ciel 119
Marche annuelle de l'éclairement 121
Transparence optique et nébulosité 122
Arc-en-ciel 125
Couronnes et halos 127
Aurores boréales 127
L'energie chimique du soleil 128
Réactions endothermiques et exothermiques 130
Actinomètre chimique de MM. Bunsen et Roscoë 132
Balance photométrique à base d'iodure d'azote de M. Lion . . 133
Actinomètre aux sels d'argent 134
Actinomètre chimique de M. Marchand 135
Distribution diurne et annuelle de l'énergie chimique 137
Entretien de la chaleur solaire 140
Bibliographie du chapitre II 143

CHAPITRE III

COMMENT LES PLANTES ET LES ANIMAUX VIVENT D'UN RAYON DE SOLEIL

Le soleil et les plantes 145
Influence des radiations calorifiques obscures 146
Influence des radiations plus réfrangibles 147
Méthode des écrans colorés 149
Méthode du spectre 150
Vitesse de croissance des végétaux 151
Station verticale des plantes 153
Assimilation du carbone 157
Formation de la chlorophylle 160
Spectre d'absorption de la chlorophylle 163
Activité inégale des diverses radiations 168
Respiration de la plante 171
Circulation de l'eau dans la plante : évaporation et transpiration. 172
Sommeil des plantes 176
Phénomènes régulateurs de l'activité de la radiation 177
Maturation des fruits 183
Coloration des fleurs 186
Lumière et microbes 189
Le soleil et l'organisme animal 191
Effets généraux des radiations 192
Eclairage des habitations 195
Le soleil et nos idées 196
Utilisation mécanique de la chaleur du soleil 201
Appareil solaire de M. Mouchot 206
Elévateur atmosphérique de M. Tellier 208
Utilisations diverses de la chaleur solaire 210
Bibliographie du chapitre III 214

CHAPITRE IV

COMMENT SE MÉTAMORPHOSENT DANS LE SOL ET DANS L'AIR LES RAYONS DU SOLEIL

Relations de la chaleur et de la température 215
Divers modes de propagation de la chaleur 218
Mesure de la température 220
Construction et graduation des thermomètres. 221
Vérification des thermomètres 230
Thermomètres à maxima 234
Thermomètre à minima 237
Thermomètrographe. 239
Thermomètres avertisseurs 240
Thermomètres enregistreurs. 244
Réparations des accidents survenus aux thermomètres 247
Température du sol. 251
Thermomètre pour la mesure de la température du sol. . . . 252
Causes des variations de température du sol 254
Marche diurne de la température du sol. 257
Marche annuelle de la température du sol. 259
Température de l'air 265
Abri thermométrique 266
Thermomètre fronde. 268
Evaluation de la température moyenne diurne. 270
Marche diurne et annuelle de la température 272
Température moyenne annuelle. 278
Distribution des températures à la surface du globe 281
Influence de la latitude 282
Influence de l'altitude 283
Influence du voisinage ou de l'éloignement des océans 284
Influence des vents et des courants marins 285
Influence de l'exposition 286
Influence du revêtement du sol 290
Lignes isothermes, isothères, isochimènes. 295
Température et climats 299
Bibliographie du chapitre IV 301

CHAPITRE V

COMMENT PLANTES ET ANIMAUX S'ACCOMMODENT DE LA TEMPÉRATURE DE L'AIR ET DU SOL

La température et la vie de la plante 304
Germination et croissance 306
Absorption radiculaire. 310
Production de la chlorophylle 312
Nutrition et transpiration. 314
Somme de température et maturation. 317
Indications thermométriques données par les plantes 323
Zones climatériques 324
Acclimatation et naturalisation 326
Les habitudes des végétaux. 331
Culture géothermique 332
Couches et châssis. 335
Culture aérothermique 338
Calorifères et thermosiphons. 339
Culture forcée de la vigne 342
Température et microorganismes. 346
La température et l'organisme animal. 353
Résistance aux températures extrêmes. 354
Chaleur animale et travail musculaire. 355
Equilibration de la température de l'organisme. 357
Bibliographie du chapitre V. 365

CHAPITRE VI

OÙ S'EN VONT LES RAYONS DU SOLEIL ET COMMENT ON PEUT LES RETENIR

Circulation générale des radiations solaires. 366
Le rayonnement nocturne. 367
Lois du rayonnement nocturne. 368
Actinomètre à duvet de cygne de Pouillet. 374
Marche du refroidissement nocturne. 377

Prévision des gelées de printemps . . . . . 37[illegible]
Procédé Kammermann . . . . . 37[illegible]
Procédé de Mohn . . . . . 37[illegible]
Epoques des gelées de printemps 383
Dates critiques de refroidissement 384
Procédés de défense contre le rayonnement nocturne 391
Procédés culturaux défensifs 392
Procédé des écrans protecteurs 394
Procédé des nuages artificiels 399
Constitution des nuages artificiels 401
Disposition des foyers dans le vignoble 407
Allumage des foyers 411
Thermomètres avertisseurs des gelées de printemps 417
Allumeurs automatiques 419
Allumeur Lestelle 421
Allumeur Schaal et Œchsling 423
Allumeur Héguilus 425
Protection contre les gelées par l'irrigation 436
Châssis vitrés 437
Serres 442
Restitution de la chaleur solaire par les végétaux et par les animaux 447
Dégagement de chaleur par les végétaux 448
Production de la chaleur animale 450
Végétaux et animaux phosphorescents 456
Migration finale de la chaleur solaire 461
Rôle de la vapeur d'eau 462
Bibliographie du chapitre VI 464

APPENDICE

LA LUNE ET SON INFLUENCE SUR LES PHÉNOMÈNES TERRESTRES

Origines des opinions et préjugés lunaires 466
Astrologie médicale et agricole 468
Constitution et mouvements astronomiques de la lune . . . 470
Masse et dimensions de la lune 471
Topographie de la lune 471
Mers et montagnes lunaires 474
Les habitants de la lune 476

La vie de la lune. 477
Les phases de la lune 479
Calcul de l'âge de la lune. 481
Calcul de la date de la fête de Pâques. 482
Déclinaisons lunaires. 483
Influences exercées par la lune à la surface du globe terrestre. 484
Radiations lunaires. 484
La lumière de la lune. 485
La lune rousse. 489
Eclipses de lune. 491
Eclipses de soleil. 493
Marées de l'océan. 498
Marées atmosphériques 501
Influence des déclinaisons lunaires. 502
Influence des lunaisons. 505
Statistiques et dictons populaires. 506
Opinions des anciens. 509
Enquête contemporaine. 513
Opinions relatives à l'influence de l'âge de la lune sur la réussite des semailles. 513
Opinions relatives à l'influence de l'âge de la lune sur le résultat de la taille des arbres. 516
Influences diverses attribuées aux lunaisons. 518
Explication de l'origine de quelques opinions ou préjugés lunaires. 520
Rôle de l'association des idées. 521
Le soutirage des vins à l'époque de la pleine lune de mars. . . 525
Conditions à remplir par les expériences de vérification 527
Bibliographie de l'appendice sur la lune. 529
Résumé et conclusions. 530
Noms et adresses de MM. les Constructeurs des instruments décrits dans cet ouvrage. 535
Table méthodique des matières. 535
Errata. 542

Montpellier.— Imp. Serre et Ricôme, rue Vieille-Intendance.

ERRATA

Page 323. Au lieu de : *Plantes et arbres divers*, lisez : *Plantes et arbres divers dont l'observation peut fournir des données utiles pour la détermination de la marche des températures.* (Liste proposée par M. Flahault dans une Note sur l'observation de la marche des phénomènes de la végétation, insérée dans le Bulletin météorologique du département de l'Hérault, année 1889).

— 332. Au lieu de : p. 232, lisez : 332.

— 482, 10me ligne. Au lieu de : 23 — 15 — 8, lisez : 23 — 15 = 8.

PUBLICATIONS DE LA LIBRAIRIE CAMILLE COULET, ÉDITEUR

Bush et fils et **Meissner.** Catalogue illustré et descriptif des vignes américaines, par MM. Bush et fils et Meissner. Deuxième édition française, avec 149 figures intercalées dans le texte, 3 planches en chromolithographie; traduite sur la troisième édition anglaise par Louis Bazille, Vice-Président de la Société d'Horticulture et d'Histoire naturelle de l'Hérault, revue et annotée par J.-E. Planchon, Professeur à la Faculté de médecine de Montpellier, correspondant de l'Institut, membre de la Société centrale d'Agriculture et de la Société d'Horticulture et d'Histoire naturelle de l'Hérault. Montpellier, 1885. 1 vol. grand in-8 jésus de 234 pages; prix 8 fr. Franco poste . . . . . 8 fr. 75

Caille (L.). Petit traité de l'art de faire le vin dans les départements du Sud-Est de la France, par Louis Caille, professeur d'Agriculture. Montpellier, 1892. 1 vol. in-12 de 86 pages; prix 1 fr. Franco poste . . . . . 1 fr. 10

Comes (O.). Le Mal nero ou la Gommose dans les vignes et dans n'importe quelle autre plante ligneuse, et les variations excessives de température, par O. Comes, professeur de botanique et de pathologie à l'Ecole royale supérieure d'agriculture de Portici; traduit de l'italien par A. Picaud, licencié ès sciences naturelles. Montpellier, 1888. 1 vol. in-12; prix 1 fr. Franco. . . . 1 fr. 10

Convert (F.). La propriété, constitution, estimation, administration; par F. Convert, professeur d'Economie rurale à l'Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier. Montpellier, 1886 (2me tirage). 1 vol. in-12; prix 4 fr. Franco . . . . . 4 fr. 50

— Les Entreprises agricoles, Organisation, Direction (capital, travail et crédit); par F. Convert, professeur d'Economie rurale à l'Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier. Montpellier, 1890. 1 vol. in-12 de 480 pages; prix 4 fr. 50. Franco. . . . . 5 fr.
(Honoré d'une souscription du Ministère de l'Agriculture.)

Cuboni (J.). Le Peronospora des grappes; par le Dr J. Cuboni, directeur de la Station de pathologie végétale de Rome, traduit de l'italien par A. Picaud, licencié ès sciences naturelles; avec deux planches, dont une en chromolithographie. Montpellier, 1889. 1 vol. in-12; prix 1 fr. 50. Franco poste. . . . . 1 fr. 60

Despetis (Dr). Traité pratique de la culture des vignes américaines, par le Dr Despetis; 2e édition, revue, corrigée et augmentée. Montpellier, 1889. 1 vol. de 340 pages environ; prix 3 fr. 50. Franco poste . . . . . 4 fr.

Filippi (Docteur de). Observations anatomico-physiologiques sur les insectes en général et en particulier sur le ver à soie du mûrier; prix 1 fr. 50. Franco poste. . . . . 1 fr. 70

Foëx (G.). Carnet de notes ampélographiques destiné aux élèves de l'Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier, par G. Foex, directeur et professeur de viticulture à l'Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier. 1 vol. gr. in-8; prix, 2 fr. 50. Franco poste. . . . . 3 fr.

— Manuel pratique de viticulture pour la reconstitution des vignobles méridionaux, vignes américaines, submersion, plantation dans les sables, par Gustave Foex, directeur et professeur de viticulture à l'Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier, avec 90 figures dans le texte; 5e édition, revue et considérablement augmentée. Montpellier, 1891. 1 vol. in-12; prix, 3 fr. 50. Franco poste. . . . . 4 fr.

(Honoré d'une souscription du Ministère de l'Agriculture)

— Cours complet de viticulture, par M. G. Foex, viticulteur, directeur et professeur de viticulture à l'Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier; troisième édition, revue et considérablement augmentée. Montpellier, 1891. 1 vol. in-8 cavalier de 1000 pages, avec 6 cartes en chromo hors texte et 576 figures dans le texte. Prix 18 fr. Franco poste, 20 fr. Recommandé. . . . . 20 fr. 25

— Rapport sur le plâtrage des vins, par G. Foex, directeur de l'Ecole nationale d'Agriculture, suivi des expériences sur le plâtrage des vins effectuées à l'Ecole nationale d'Agriculture de Montpellier sur l'ordre de M. le Ministre de l'Agriculture : par MM. Bouffard, Audoynaud et Bourdel. Montpellier, 1888. 1 vol. in-8; prix 2 fr. 50. Franco. . . . . 2 fr. 75

Foëx (G.) et **Viala** (P.). Le Mildiou ou Peronospora de la vigne, par Gustave Foex, directeur et professeur de viticulture, et Pierre Viala, répétiteur de viticulture à l'Ecole nationale d'Agriculture. Montpellier, 1885. 1 vol. in-12, avec 4 planches dont une en chromolithographie; prix 2 fr. Franco poste . . . . . 2 fr. 20

Grazzi-Soncini. Le vin, ses caractères, ses défauts, par G. Grazzi-Soncini, directeur de l'Ecole de Viticulture et d'Œnologie de Conegliano. Traduit de l'italien par A. Picaud, licencié ès sciences naturelles. Montpellier, 1891. 1 vol. in-12; prix 2 fr. Franco poste. . . . . 2 fr. 25

Hugounenq (P.). Phosphatage des vins, nouvelle méthode de clarification des vins remplaçant le plâtrage; par P. Hugounenq, chimiste. Montpellier, 1889; in-8 de 32 pages. Prix, 1 fr. Franco. . . . . 1 fr. 10

Maillot (Eugène). Leçons sur le ver à soie du mûrier, par Eugène Maillot, directeur de la Station séricicole à l'Ecole d'agriculture. Montpellier, 1885. 1 vol. in-8, avec 36 figures dans le texte et 3 pl. gravées; prix 5 fr. Franco poste . . . . . 5 fr. 60

Malpighi. Traité du ver à soie; texte original, traduit en français avec des notes par Eugène Maillot, directeur de la Station séricicole à l'Ecole d'agriculture. Montpellier, 1878. 1 vol. in-4 jésus, avec 12 planches lithographiques; prix 10 fr. Franco poste . . . 11 fr.

PUBLICATIONS DE LA LIBRAIRIE CAMILLE COULET, ÉDITEUR

Cazalis (F.). Traité pratique de l'art de faire le vin, par le Dr Frédéric Cazalis, directeur du *Messager agricole*, président de la Société d'Agriculture de l'Hérault. Montpellier, 1890. 1 vol. in-8 de 400 pages, avec 68 figures dans le texte; prix 7 fr. 50. Franco poste . . . . . 8 fr. 25

(Honoré d'une souscription du Ministère de l'Agriculture)

Fitz-James (Mme la duchesse de). La viticulture franco-américaine (1869-1889). Congrès viticoles. Excursions viticoles en France et en Algérie. La viticulture au point de vue financier. Bouture à un œil; par Mme la duchesse de Fitz-James. Montpellier, 1889. 1 vol. in-12 de 600 pages, avec figures dans le texte; prix 6 fr. Franco poste . . . . . 6 fr. 70

Marès (Henri). Description des cépages principaux de la région méditerranéenne de la France, par Henri Marès, membre correspondant de l'Institut, membre de la Société nationale d'Agriculture de France, secrétaire perpétuel de la Société centrale d'agriculture de l'Hérault. 1 vol. in-folio carré (44 sur 56 c.), de 80 planches en chromolithographie et de 120 pages de texte; prix en livraison. . . . . 75 fr.

Reliure toile pleine, planches montées sur onglet. . . . . 85 fr.

Demi-rel. maroquin, pl. montées sur onglet, non rogné. . . 90 fr.

Mignot (J.-P.). Traité de comptabilité agricole, contenant un exemple de la tenue des livres pendant une année, par J.-P. Mignot, professeur de comptabilité agricole, agent de comptabilité à l'École nationale d'agriculture de Montpellier. Deuxième édition, revue et corrigée. Montpellier, 1892. 1 vol. grand in-8 jésus; prix 6 fr. Franco poste. . . . . 6 fr. 75

Pellin (V.). Manuel du greffeur de vignes. Quatrième édition. Montpellier, 1889; in-8. Franco poste. . . . . 1 fr. 15

— Atlas de greffes de vignes, description et synonymies, par V. Pellin, professeur de viticulture à l'Institut national agronomique (ancienne école de Montpellier). 1888. 1 vol. in-12 de 400 pages. . . . . 3 fr. 50

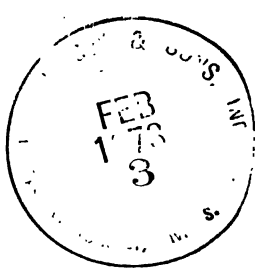
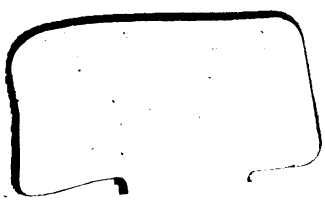
Rouget (L.). Observations pratiques sur la reconstitution des vignobles au moyen de cépages américains, par L. Rouget, professeur à l'École nationale d'agriculture de Montpellier. 2e édition, revue et augmentée, avec fig. dans le texte. 1891. 1 vol. in-12; prix 3 fr. Franco poste . . . . . 3 fr. 50

— Manuel pratique de vinification, vins naturels, vins de liqueurs, eaux-de-vie, marcs. 2e édition, revue et augmentée. 1 volume petit in-8 avec figures dans le texte; prix 2 fr. Franco poste . . . . . 2 fr.

Rovesenda. Essai d'une ampélographie universelle, par J. Rovesenda; traduite, annotée et augmentée par le Dr F. Calo, G. Foex, directeur et professeur, et Pierre Viala, professeur de viticulture à l'École nationale d'agriculture de Montpellier. 2e édition, augmentée d'une planche en couleur. Montpellier, 1892. 1 vol. in-4; prix 7 fr. Franco poste . . . . . 7 fr.

5 393

Montpellier. — Imp. Serre et Ricome, rue Vieille-Intendance.


FEB
1
3